

La Gestión de Riesgos de Desastres
en COSIPLAN: Metodología y aplicación
en infraestructura de Chile y Perú



La **Gestión de Riesgos de Desastres** en COSIPLAN: Metodología y aplicación en infraestructura de Chile y Perú



ÍNDICE

Capítulo 1

Antecedentes	5
Introducción	5
Marco conceptual de la Gestión de Riesgo de Desastres	6
Componentes de la Gestión de Riesgo de Desastres	9
Identificación del riesgo	9
Reducción del riesgo (prevención y mitigación)	9
Preparación para la respuesta	10
Recuperación con resiliencia	11
Protección financiera	11

Capítulo 2

Metodología para la gestión de riesgo en infraestructura de integración de COSIPLAN-IIRSA	15
Introducción	15
FASE I. Selección de la infraestructura	18
Paso 1. Selección de la infraestructura	18
Paso 2. Caracterización de la infraestructura y amenazas de interés	20
Paso 3. Definición de los objetivos e indicadores de desempeño	23
FASE II. Identificación del riesgo	26
Enfoque metodológico	26
Estimación y caracterización de las amenazas	27
Análisis de vulnerabilidad	28
Análisis de riesgo	29
Identificación de posibles medidas de reducción de riesgo	31
FASE III. Reducción del riesgo	31
Reducir el riesgo	33
Preparativos para la respuesta	34
Retención y transferencia del riesgo	35

Capítulo 3

Resultados de la aplicación piloto para la gestión de riesgo en infraestructura de integración de COSIPLAN-IIRSA 39

Fase I. Selección de la infraestructura	40
Paso 1. Selección de la infraestructura	40
Paso 2. Caracterización de la infraestructura y amenazas de interés	45
Paso 3. Definición de objetivos e indicadores de desempeño	57
Fase II. Identificación del riesgo	68
Metodología	68
Enfoque del estudio	69
Resultado del estudio	70

Capítulo 4

Conclusiones y recomendaciones 101

Capítulo 5

Bibliografía 105

Capítulo 6

Anexos 109

Anexo 1. Ejemplo definición de los objetivos de desempeño para la Terminal Portuaria de Ilo – ENAPU S.A frente a sismos y tsunamis	109
Anexo 2. Actividades y alcance de estudios de riesgo	105
Anexo 3. Caracterización infraestructura	109

Acrónimos	133
-----------------	-----

Glosario	134
----------------	-----

Antecedentes

Introducción

La región sudamericana ha sido afectada por diversos eventos ocasionando desastres como terremotos, inundaciones, erupciones volcánicas, y otros. En los últimos 35 años la región ha experimentado pérdidas directas en infraestructura por desastres de gran magnitud, alcanzando cifras de alrededor de US\$88.000 millones. De este total, el sector transporte enfrentó pérdidas por aproximadamente US\$3.800 millones y en el sector energético US\$640 millones en plantas eléctricas.

El Plan de Acción Estratégico de COSIPLAN¹ (PAE 2012-2022) establece la necesidad específica sobre la temática de la Gestión de Riesgo de Desastres (GRD), cuyo objetivo es proporcionar a los países miembros la reducción del impacto de amenazas naturales que afecten las infraestructuras de integración suramericanas.

Como primera iniciativa sobre Gestión de Riesgo de Desastres, se elaboró durante el año 2013, la "Metodología para la Incorporación de Gestión de Riesgos de Desastres en Infraestructura de Integración de COSIPLAN-IIRSA". Esta herramienta fue validada por los países miembros durante la

1. *El Consejo Suramericano de Infraestructura y Planeamiento (COSIPLAN), fue creado en el año 2009 durante la III Reunión de Jefes y Jefes de Estado y Gobiernos de UNASUR. En el reglamento de COSIPLAN se consideran funciones y atribuciones para las diferentes instancias de apoyo del Consejo, en el que se destaca las que se asignan a la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana (IIRSA) en relación a "desarrollar y aplicar metodologías para enriquecer la cartera de proyectos, atendiendo criterios de desarrollo social y económico sustentables, preservando el ambiente y el equilibrio con los ecosistemas".*

reunión del Grupo Técnico Ejecutivo (GTE) de GRD que se llevó a cabo en septiembre de 2013 en la ciudad de Santiago, Chile.

A partir de la solicitud realizada por Chile y Perú, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) aprobó la Cooperación Técnica (CT) RG-T2474 con el fin de apoyar los trabajos de COSIPLAN en esta materia. En ese contexto se desarrolló el Manual de Usuario de la Metodología que fue aprobado en la reunión del GTE de octubre de 2014 en Buenos Aires, Argentina. En esa actividad se acordó realizar una implementación piloto de la metodología en la zona sur de Perú y norte de Chile, área de influencia del Grupo de Proyectos 5 del Eje Interoceánico Central, expuesta a amenaza sísmica y de tsunami.

La implementación de la aplicación piloto se inició en enero de 2015. Se seleccionaron cinco infraestructuras de Chile y de Perú, sobre las cuales se desarrollaron las primeras actividades previstas en la metodología. Como resultado de este trabajo se priorizaron dos infraestructuras de integración por país para realizar el análisis de riesgo: Puerto de Arica y Aeropuerto de Arica en Chile, y Puerto de Matarani y Aeropuerto de Tacna en Perú.

En marzo de 2016, se realizó el Taller Binacional de Chile y Perú sobre GRD, en Arica, Chile. El objetivo fue compartir los resultados del estudio y las lecciones aprendidas de la aplicación piloto. Posteriormente, en la reunión del GTE de GRD en Lima, Perú, en junio de 2016, se resolvió difundir el documento de la Metodología GRD y el Informe Final de la Aplicación Chile-Perú.

El presente documento proporciona una Guía Metodológica para la Incorporación de la Gestión de Riesgo de Desastres en la Infraestructura de Integración COSIPLAN-IIRSA, que permite analizar el riesgo de desastres e identificar posibles medidas de reducción de riesgo en la infraestructura de integración.

El objetivo de esta metodología es prevenir o reducir los efectos de eventos catastróficos (terremotos, maremotos, aluviones, inundaciones y erupciones volcánicas) que afecten las infraestructuras suramericanas, y establecer planes de recuperación de la conectividad y de la infraestructura pública. Su aplicación permitirá una adecuada conservación y funcionamiento de los proyectos de infraestructura de integración ante riesgos de desastres de la naturaleza. De esta manera se protegerá el patrimonio de la infraestructura de integración y la actividad socioeconómica subyacente sudamericana.

Este documento comprende cuatro capítulos. El primero, presenta el marco conceptual de la GRD. El segundo explica la metodología, que incluye tres fases². El tercero detalla la experiencia de la aplicación piloto de la metodología a los puertos y aeropuertos chilenos y peruanos seleccionados³. El cuarto capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones de la aplicación de la metodología.

Esta metodología, que permite identificar las medidas necesarias para la reducción del riesgo o aumentar la resiliencia en caso de desastres, se torna fundamental a la hora de planificar la infraestructura de integración suramericana. En este sentido, se pone a disposición esta herramienta para ser aplicada por los países miembros de UNASUR.

2. Fase I: Selección de la infraestructura; Fase II: Identificación del riesgo; y Fase III: Reducción del riesgo.

3. La aplicación de la Fase III, que comprende las intervenciones necesarias para la reducción del riesgo, es de responsabilidad de Chile y Perú.

Marco conceptual de la Gestión de Riesgo de Desastres

Se entiende por GRD (Gestión de Riesgo de Desastres) al proceso sistemático que integra la definición, prevención, mitigación y transferencia del riesgo, así como la preparación para desastres, respuesta en casos de emergencia y la rehabilitación y reconstrucción, con objeto de atenuar los impactos de los desastres (UNISDR, 2004). Esta definición presenta dos ideas esenciales: primero, que la gestión del riesgo es un proceso, y no un fin último del desastre ya materializado, y segundo, que la gestión del riesgo se realiza tanto para reducir el riesgo existente como para evitar la generación de nuevos riesgos. Estas dos ideas esenciales han sido materializadas en el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (Marco de Sendai).

El marco conceptual del presente documento se basa principalmente en el Marco de Sendai, la Política del BID sobre Gestión de Riesgo de Desastres (GN-2454-5), la importancia de bienes públicos regionales, como la infraestructura de integración y los instrumentos analíticos que permiten realizar el estudio de riesgos (los instrumentos analíticos estadísticos y de ingeniería). A continuación se presenta el detalle del marco conceptual:

Marco de Sendai

En el año 2001, y con el fin de fomentar la implementación de la GRD a nivel internacional, Naciones Unidas creó la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) con el objetivo de catalizar, facilitar y movilizar recursos, comprometiendo a todos los actores a nivel nacional, regional e internacional, involucrados en la implementación de la GRD.

En el año 2015 la UNISDR organizó la Tercera Conferencia Mundial para la Reducción del Riesgo de Desastres en Sendai (Japón), con la participación de los representantes de más de 180 países (incluyendo todos los países miembros de COSIPLAN). En esta Conferencia los países aprobaron el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres para 2015 -2030.

Los lineamientos principales del Marco de Sendai incluyen: la necesidad de comprender mejor el riesgo de desastres en todas las dimensiones relativa a la exposición, la vulnerabilidad y característica de amenazas; el fortalecimiento de la gobernanza del riesgo de desastres, incluidas las plataformas nacionales; la rendición de cuentas en la Gestión de Riesgos de Desastres; la necesidad de prepararse para reconstruir mejor; entre otros.

La aplicación de la metodología por parte de los países del COSIPLAN, descrita en este documento, contribuirá con el cumplimiento de la meta del Marco de Sendai, que establece *"Incrementar considerablemente el número de países que cuenten con estrategias de reducción del riesgo de desastres a nivel nacional y local"*; y en forma indirecta con las demás metas establecidas en dicho marco, tales como: *"reducir considerablemente la mortalidad mundial causada por desastres para 2030"*; *"reducir considerablemente el número de personas afectadas"* y *"reducir las pérdidas económicas causadas directamente por los desastres"*.

Adicionalmente, las metas y lineamientos de dicho Marco coinciden con la Política del BID sobre Gestión de Riesgo de Desastres (GN-2354-5), que considera de manera explícita la Gestión de Riesgo de Desastres, y cuenta con cinco pilares y procesos específicos para: la identificación de riesgo (IR); la reducción de riesgo (RR); la preparación para la respuesta (PR); la recuperación con resiliencia (RC), y la protección financiera (PF), que se presentan en este capítulo.

Instrumental analítico estadístico

El marco conceptual del presente documento utiliza el instrumental analítico estadístico que ha sido aceptado y demostrado teórica y empíricamente a lo largo de los años en ámbitos financieros y de ingeniería.

El principal instrumento analítico de este marco conceptual es el análisis probabilista de riesgos que tiene como objetivo fundamental determinar las distribuciones de probabilidad de las pérdidas que pueden sufrir, entre otros, los activos expuestos como consecuencia de la ocurrencia de eventos naturales. Para ello se requiere la representación probabilista tanto de la amenaza, en términos de valores esperados y su dispersión, como de las funciones de vulnerabilidad de la infraestructura asociadas a cada amenaza.

En consecuencia se requiere llevar a cabo estimaciones de las amenazas posibles de afectar a cada una de las zonas de emplazamiento de la infraestructura seleccionada, dado que el riesgo de desastre⁴ es función de la probabilidad de ocurrencia de las amenazas en conjunto con las funciones de vulnerabilidad que relacionan la medida de intensidad de la amenaza (aceleración en el caso de sismo y altura de inundación en el caso de tsunami) con el valor esperado del daño.

Instrumental analítico ingeniería

Como parte de la aplicación de la metodología descrita en el presente documento se considera la incorporación de la ingeniería en sus diferentes fases, ya sea desde la caracterización y modelación de los diferentes fenómenos naturales, de la infraestructura y del terreno en el cual estas se emplazan, hasta la propuesta y ejecución de soluciones técnicas para la reducción del riesgo.

En efecto, para la caracterización se considera la revisión de información existente (normas de diseño, estudios de ingeniería, estadísticas de fenómenos naturales, memorias de diseño, proyectos, entre otros), que junto con la inspección visual de la infraestructura en terreno permiten la caracterización de la infraestructura desde un punto de vista de su diseño y sus potenciales debilidades frente a las amenazas consideradas.

Las alternativas de soluciones de ingeniería para la reducción del riesgo son variadas, tales como: refuerzos estructurales, mejoramientos de suelos, implementación de sistemas de aislación y/o disipación, sistemas de protección, mitigación o prevención, entre otros, las cuales debieran ser definidas desde un punto de vista técnico y económico.

4. El riesgo se mide por probable pérdida de vidas humanas, número de personas afectadas, daños y pérdida económica; ésta se mide por daño directo de la infraestructura y, pérdida económica causada por un desastre.

Infraestructura de integración

El marco conceptual de las inversiones en infraestructura de integración se basa en los efectos positivos de la creación de bienes públicos regionales o de integración que permiten mejorar la competitividad de los países en los mercados internacionales, sus cadenas de importación y exportación y por ende su crecimiento económico, a través de incrementos en la productividad.

En América del Sur, desde hace casi dos décadas, los países se han venido coordinando a través de COSIPLAN-IIRSA para avanzar en las inversiones de infraestructura de integración. La existencia de esta iniciativa es fundamental para que los países puedan aplicar GRD en proyectos de infraestructura de integración pues facilita los diálogos binacionales y multinacionales, las reuniones de trabajo y los encuentros que son necesarios tanto para definir las amenazas como también la identificación y selección de la infraestructura a estudiar.

En este sentido la GRD permite proteger el valor del patrimonio de la infraestructura de integración como también su valor residual. Es oportuno destacar que América del Sur posee un valor total de proyectos de infraestructura de integración finalizados por alrededor de US\$26 mil millones y una cartera de proyectos activos por US\$156 mil millones en diferentes etapas del ciclo de proyectos.

El proceso de las aplicaciones de GRD también fomenta la integración a través del intercambio de conocimiento, mejores prácticas e interacción entre los profesionales de los diversos países involucrados. La comparación de los resultados de las medidas de mitigación para infraestructuras similares en dos o más países también es un valor agregado que permite fomentar la integración mediante el intercambio de los resultados y las recomendaciones para la acción.

Componentes de la Gestión de Riesgo de Desastres

De acuerdo con la definición de la Gestión de Riesgo de Desastres (GRD), a continuación se describen cada uno de sus componentes de acuerdo al marco de la Política del BID sobre GRD (GN-2354-5):

Identificación del riesgo

La identificación del riesgo implica conocer las amenazas, la exposición y las vulnerabilidades de la infraestructura. Con la identificación del riesgo se pueden dimensionar los eventos que podrían ocurrir, así como su magnitud y probables impactos, incluyendo la evaluación de múltiples amenazas; la identificación y caracterización de la infraestructura, servicios, comunidades y de otros elementos o sistemas expuestos a amenazas; y sus vulnerabilidades.

El proceso de la identificación del riesgo permitirá contar con los siguientes resultados:

- ▶ Caracterización de las amenazas (frecuencia, intensidad y gravedad)⁵ y que hayan afectado la zona del proyecto, y que se espera afecten el territorio durante la vida operacional de la infraestructura de interés;
- ▶ Determinación de la vulnerabilidad y las pérdidas probables de componentes del proyecto/grupo de proyectos, es decir los tipos y magnitud de los probables impactos sociales, económicos y ambientales debidos a cada amenaza, incluyendo impactos directos e indirectos; y

Reducción del riesgo (prevención y mitigación⁶)

El resultado de la identificación del riesgo de desastres permite avanzar hacia la reducción del riesgo a través de la definición de diversas estrategias, planes y proyectos. La reducción del riesgo comprende medidas estructurales y no estructurales que se implementan para evitar que se generen riesgos, reducir los mismos, o disminuir la exposición de una comunidad, sistema o infraestructura.

De manera genérica, algunas medidas típicas de reducción de riesgo que son consideradas e implementadas en infraestructura, las cuales pueden incluirse en el proceso de diseño, construcción, operación o mantenimiento, son las siguientes:

- ▶ Ubicación o reubicación de los componentes/infraestructura en “zonas seguras”⁷ (áreas donde las amenazas naturales no se presentan o se presentan con menor frecuencia o intensidad).
- ▶ Obras de protección civil, tales como: canalización de ríos y quebradas; estabilización de taludes; sistemas de drenajes; mejoramiento de suelos, entre otros.
- ▶ Obras de reforzamiento de los componentes del sistema/infraestructura de mayor vulnerabilidad frente a las amenazas a las que están expuestas.

Preparación para la respuesta

Una vez que los riesgos sean identificados, parte de ellos pueden ser mitigados; sin embargo, existirán riesgos remanentes, es decir el riesgo intensivo que es difícil eliminar o reducir totalmente. En estos casos la única alternativa es prepararse para la respuesta o para buen manejo de desastres con el fin de proteger la vida y asegurar la continuidad de actividad socioeconómica.

Las actividades de preparación para responder frente a un desastre consisten en planificar y responder a sus efectos, mediante el fortalecimiento de las capacidades de las instituciones, su personal, comunidades y personas. Lo anterior requiere de una organización y administración de los recursos y las responsabilidades previamente definidas, incluyendo planes de contingencia, simulacros y otros.

5. Se prevé que las amenazas hidrometeorológicas (inundaciones, sequías, huracanes, heladas, entre otros) aumenten en frecuencia o intensidad debido al cambio climático.

6. Si bien “prevención y mitigación” no aparecen en el título del componente en el marco conceptual citado, se incluye esta distinción para recalcar que aquí no se está haciendo referencia al concepto de “reducción de riesgos de desastres” o RRD adoptado por la UNISDR, sino a una interpretación más limitada y literal para denominar aquello que se realiza para evitar o limitar el riesgo.

7. La correcta selección de la ubicación de la infraestructura en el territorio, sobre todo al inicio de cualquier tipo de proyecto, es un elemento clave para controlar su nivel de riesgo.

La preparación ha sido el componente de la Gestión de Riesgo de Desastres donde normalmente se han concentrado la mayoría de los esfuerzos de los países: la implementación y uso de sistemas de alerta temprana que lleven a la acción, planes de contingencia (y la realización de ejercicios prácticos que permitan socializar esos planes), fortalecer la capacidad de las organizaciones locales para alertar sobre desastres, actuar para reducir la exposición de la población y prepararse para responder a sus impactos.

Para asegurar una respuesta eficaz ante una situación de emergencia o desastres, es indispensable conocer de manera anticipada la/s amenaza/s a la/s cual/es está expuesta la infraestructura y sus componentes y los puntos débiles (vulnerables) del sistema, para que en base a esta información se planifique la forma y los recursos que estarán disponibles para atender la emergencia.

Las estrategias de preparación para la respuesta, deberían considerar los siguientes principios:

- ▶ Proteger la vida, integridad y bienestar de los usuarios del servicio y de las comunidades que se ubican en la zona de influencia del sistema, infraestructura o componente.
- ▶ Restablecer la operación de la infraestructura o componente dañado a niveles aceptables y previamente definidos.
- ▶ Mantener informado y dar oportunidades de participación a usuarios del servicio y comunidades en la zona de influencia del sistema, sobre las acciones que se esté planeando ejecutar.
- ▶ Disponibilidad de instrumentos financieros y transferencia de riesgo (pólizas de seguro, entre otros).

Adicionalmente se podrían dotar a los sistema(s)/infraestructura(s) de redundancia y/o interconexión con otros sistemas, de manera de aumentar la fiabilidad ante la ocurrencia de situaciones adversas que aseguren el funcionamiento del sistema/infraestructura.

Recuperación con resiliencia

La recuperación con resiliencia se entiende como la rehabilitación y reconstrucción de la infraestructura, instalaciones, servicios públicos, medios y condiciones de vida de las comunidades afectadas por los desastres.

Tras un desastre, el proceso de reconstrucción presenta una oportunidad para promover la resiliencia, esto es reconstruir la infraestructura dañada y restablecer los servicios y otros sin reconstruir las condiciones de vulnerabilidad que llevaron a la ocurrencia del desastre, es decir, "reconstruir mejor".

Dentro de las actividades de reconstrucción se pueden destacar las siguientes:

- ▶ Reubicación física de comunidades y/o infraestructura afectada.
- ▶ Diseño y construcción de la infraestructura dañada teniendo en consideración las causas de los daños y revisión de la normativa, que aumente la resiliencia de la infraestructura a recuperar.
- ▶ Ejecutar acciones de rehabilitación, creando sistemas redundantes que incrementen la resiliencia frente a futuros eventos, tales como: rutas alternativas a caminos dañados; by-pass en sistemas de tuberías, y otros.

Protección financiera

Las estrategias de protección financiera alivian a los estados, instituciones, empresas y hogares de la carga económica de los desastres; son estrategias orientadas a aumentar la capacidad financiera para responder en caso de desastre. Por ejemplo, a través de la existencia de fondos de contingencia (retención del riesgo) o transfiriendo el riesgo:

- ▲ Retención del riesgo, mediante un fondo de emergencia a través del cual se asignan recursos financieros de manera regular para atender necesidades que surjan producto de emergencias y/o desastres. El monto del fondo debe ser establecido mediante estudios de dimensionamiento de las pérdidas probables.
- ▲ Transferencia de riesgo, mediante la contratación de un seguro, en el cual el asegurador se obliga, a cambio del pago de una prima, a indemnizar a la otra parte, dentro de los límites convenidos, por una pérdida o un daño producido por un acontecimiento incierto, o a pagar un capital o una renta. En un contrato de seguro lo que se busca es que la institución afectada por el desastre disponga de los recursos financieros necesarios a tiempo para realizar las acciones, obras y adquisiciones que permitan restablecer los elementos o componentes dañados a condiciones similares a las existentes antes de producido el evento adverso. De esta forma es posible minimizar los costos totales y asignar de forma eficiente los recursos disponibles. Para la toma de decisión sobre qué y cuánto riesgo transferir, es fundamental entre otras cosas, tener una estimación del costo total que alcanzaría el siniestro más grave que pudiera producirse. Para su cálculo se toman en consideración la naturaleza y características del riesgo cubierto, las probabilidades de siniestralidad, y todos los elementos y circunstancias que puedan influir, agravando o aminorando los efectos del siniestro tales como: medidas de seguridad y prevención adoptadas, entre otros.

Entendido el marco conceptual y los componentes de la GRD el próximo capítulo explicará en detalle la metodología para la GRD en infraestructura de integración de COSIPLAN-IIRSA.





Metodología para la gestión de riesgo en infraestructura de integración de COSIPLAN-IIRSA

Introducción

Este capítulo explica la metodología para incorporar la Gestión de Riesgo de Desastres en infraestructura de integración de COSIPLAN-IIRSA.

El Plan de Acción COSIPLAN-IIRSA 2012-2022 (PAE 2012-2022) enuncia varias amenazas que se deben tomar en cuenta en la metodología: terremotos, inundaciones, deslizamientos y tsunamis. Cada amenaza tiene diferentes perspectivas para su caracterización, vulnerabilidad de infraestructura expuesta y posibles medidas para reducir el riesgo. La presente metodología puede aplicarse a cualquiera de dichas amenazas.

Se reconoce que los proyectos de integración de COSIPLAN-IIRSA se encuentran en diferentes fases de desarrollo; algunos proyectos existentes requieren ampliación, mejoramiento o rehabilitaciones, algunos están en construcción, y otros en etapa de perfil. Este documento se enfoca en los proyectos con infraestructura existente, que se encuentran en operación.

De acuerdo a los componentes de GRD, descritos en el capítulo anterior, el componente “Identificación de riesgo” coincide con las primeras dos fases de la presente metodología: Fase I “Selección de la Infraestructura”, cuyo objetivo es la priorización de la infraestructura crítica de integración; y Fase II “Identificación del riesgo”, explicado en el capítulo anterior. En la última fase de la metodología (Fase III) se incluyen los componentes de reducción de riesgos, preparación para la respuesta y la protección financiera. El componente correspondiente a la “Recuperación con resiliencia” no se incorpora dado que para esto se requiere que haya ocurrido el desastre.

Tabla 1. Componentes Política BID GN 2354 v/s Fases Metodología

Componentes de la Política del BID	Fases de la presente metodología
Identificación del riesgo	FASE I: Selección de la infraestructura
	FASE II: Identificación del riesgo
Reducción del riesgo	FASE III: Reducción del riesgo
Preparación para la respuesta	
Protección financiera	
Recuperación con resiliencia	No Aplica

De esta manera, la presente metodología cuenta con tres fases definidas a continuación:

- ▲ **FASE I. “Selección de la infraestructura”** permite definir y caracterizar las infraestructuras y las amenazas que se deberían considerar para la reducción del riesgo. Incluye los objetivos e indicadores de desempeño deseados para la infraestructura frente a la ocurrencia de un evento de desastre.
- ▲ **FASE II. “Identificación del riesgo”** permite realizar un análisis de riesgo de la infraestructura frente a las amenazas consideradas e identificar posibles medidas de reducción del riesgo para asegurar el desempeño ante un desastre.
- ▲ **FASE III. “Reducción del riesgo”**, sobre la base de los resultados de la Fase II se implementan acciones para reducir el riesgo. Adicionalmente, esta fase facilita la preparación para la respuesta y protección financiera (específicamente transferencia del riesgo) de manera efectiva y eficaz frente a emergencias y desastres.

A lo largo de las diferentes fases que se plantean a continuación, la institución interesada deberá validar y tomar decisiones sobre los resultados que se vayan obteniendo en cada fase para asegurar que los productos que se obtengan sean adecuados y de utilidad.

Figura 1. Fases Metodología



Instituciones participantes

El desarrollo de la identificación del riesgo y reducción del riesgo, requiere la concurrencia y participación de las instituciones vinculadas a la normatividad, regulación, diseño, operación y/o mantenimiento de la infraestructura bajo análisis, así como también se podrá requerir la participación de otros actores e instituciones, dependiendo de las necesidades específicas. En este sentido se identifican los siguientes grupos de actores, cuyas funciones se proponen en las respectivas fases de la presente metodología.

Figura 2. Grupos de instituciones participantes en la aplicación de la metodología

Grupo 1. Instituciones nacionales

Instituciones nacionales o federales vinculadas a la regulación, diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura analizada (ministerios, empresas estatales, superintendencia, ente regulador, etc).

Grupo 2. Instituciones locales o regionales

Operadores de la infraestructura, autoridades/instituciones locales o regionales sectoriales encargadas de la operación, planificación, regulación e inspección de la infraestructura de interés. Representantes de gobiernos locales (Municipio, Departamento, Provincia, etc).

Grupo 3. Instituciones especializadas en amenazas

Instituciones técnicas, científicas o académicas (universidades) encargadas del estudio y monitoreo de amenazas naturales que serán consideradas en el estudio.

FASE I. Selección de la infraestructura

Esta fase tiene por objetivo la realización de los siguientes tres pasos: 1) Selección de la infraestructura, para realizar el estudio de riesgo, consensuada entre varios actores; 2) Caracterización (preliminar) de infraestructura y amenazas; y 3) Definición de objetivos e indicadores de desempeño; cuyos alcances se describen en la tabla 2 siguiente:

Tabla 2. Pasos considerados en la FASE I - Selección y Caracterización

Pasos FASE I	Resultado/alcance
Paso 1. Selección de la infraestructura	Establecer las razones para realizar un estudio de riesgo; Definir las infraestructuras que serán objeto del estudio de riesgo y su ubicación territorial.
Paso 2. Caracterización de infraestructura y amenazas	Identificación y caracterización física y funcional de la infraestructura y sus componentes; Identificación y caracterización técnica de la/s amenaza/s de interés.
Paso 3. Definición de objetivos e indicadores de desempeño	Definición de los objetivos de desempeño e indicadores de desempeño para asegurar operatividad de la infraestructura objeto en caso de desastre.

Para el logro de estos objetivos se deberían realizar las siguientes actividades:

- ▶ Reuniones con actores relevantes pertenecientes a los grupos de instituciones señalados en la figura 2.
- ▶ Recopilación de información necesaria.

Paso 1. Selección de la infraestructura

Idealmente los coordinadores nacionales de COSIPLAN-IIRSA de cada país se reunirán para establecer las principales motivaciones, centrado en las amenazas naturales que afecta la infraestructura de integración de sus países (proximidad/evidencia de la manifestación de un fenómeno natural de poder destructivo; ocurrencia de un desastre que provoca daños que motiven la revisión o análisis de riesgo ex post, y así llegar a acuerdos para priorizar y avanzar seleccionando aquellas que fuesen relevantes para ellos.

América del Sur está expuesta a diferentes tipos de amenazas de origen natural debido a sus características geológicas, climáticas, hidrológicas y geomorfológicas, entre otras. Las amenazas que afectan a la mayoría de los países de la región corresponden a sequías e inundaciones asociadas a El Fenómeno del Niño-Oscilación Sur (ENOS). También las inundaciones son frecuentes, como consecuencia de la expansión urbana no planificada, la erosión y el uso no sostenible de la tierra. Por otra parte, las temperaturas extremas y sequías son cada vez más pronunciadas y frecuentes en algunas zonas de la región, particularmente en Perú y el Altiplano Boliviano y el Gran Chaco (Bolivia y Paraguay al norte de Argentina). Además, tanto la costa del Pacífico como la zona sur del continente

presentan una intensa actividad sísmica que ha generado terremotos y tsunamis de gran magnitud. Adicionalmente, la región tiene 204 volcanes activos¹.

Las instituciones vinculadas al diseño, regulación y/u operación correspondientes al Grupo 1 y/o Grupo 2, son las que deberían participar en la selección de la infraestructura y amenazas a ser consideradas para llevar a cabo un estudio de riesgo frente a amenazas naturales. Las funciones y actividades propuestas para dichas instituciones se señalan en la tabla 3 siguiente:

Tabla 3. Roles y responsabilidades de los actores para la selección de la infraestructura y amenazas a ser consideradas en el estudio

Instituciones	Paso 1. Selección de la infraestructura Roles y actividades
Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas al diseño, operación de la infraestructura bajo análisis (ministerios, empresas estatales, empresas privadas).	Individualizar la infraestructura, componentes y/o equipos que conforman el sistema en estudio; Identificar la/s amenaza/s a ser considerada/s en el estudio.
Grupo 2: Operadores de la infraestructura, autoridades/instituciones locales sectoriales encargadas de la operación, planificación, regulación e inspección de la infraestructura de interés. Representantes de gobiernos locales (Municipio, Departamento, Provincia, entre otros).	Individualizar la infraestructura, componentes y/o equipos que conforman el sistema en estudio; Identificar la/s amenaza/s a ser considerada/s en el estudio.

Sobre la base de la motivación para realizar el estudio de riesgo, descrito en el presente paso, a continuación se presentan los pasos a seguir para la selección de la infraestructura:

- a) **Definición de las amenazas de interés:** los países interesados en realizar el estudio de riesgo en sus respectivas infraestructuras de integración, deberían consensuar las amenazas de interés, sobre la base de estudios científicos, la cual reviste preocupación o relevancia para las autoridades nacionales, locales, académicas y técnicas de sus respectivos países. En principio el Grupo 1 liderará esta actividad para tomar la iniciativa de las correspondientes definiciones.
- b) **Definición del área de influencia de las amenazas:** sobre la base de estudios científicos definir el área de influencia de las amenazas esperadas de mayor magnitud. En esta actividad se considera principalmente la participación de los Grupos 1 y 2 en la propuesta del área de influencia para tomar la iniciativa de las correspondientes definiciones.
- c) **Identificación de la infraestructura expuesta:** en el área de influencia de las amenazas de interés, se identificarán las infraestructuras existentes en los Ejes de Integración y Desarrollo (EID) de COSIPLAN-IIRSA correspondientes al Plan de Acción de COSIPLAN-IIRSA 2012-2022 (PAE 2012-2022). En esta actividad se considera principalmente la participación del Grupo 2 en la propuesta del área de influencia y del Grupo 1 para tomar la iniciativa de las correspondientes definiciones.

1. Son aquellos que pueden entrar en actividad eruptiva. La mayoría de los volcanes permanecen en reposo la mayor parte del tiempo y ocasionalmente entran en actividad. Solamente unos pocos están en erupción continua.

d) Priorización y selección de la infraestructura a estudiar: los países interesados en realizar el estudio de riesgo definirán el EID, donde se encuentren las infraestructuras de integración que se ubiquen en el área de influencia de las amenazas de interés. Los representantes del o los países de dichas infraestructuras se reunirán y seleccionarán las infraestructuras para el estudio de riesgo. En esta actividad se considera principalmente la participación del Grupo 1, para tomar la iniciativa de las correspondientes definiciones.

Podría ser de interés o necesidad (por restricciones de tiempo y recursos) que el estudio de riesgo se centre sólo en algunos componentes o equipos de la infraestructura identificada. Para este caso se deberá realizar un proceso documentado de la priorización de los componentes, instalaciones industriales y equipos que finalmente serán estudiados, que considere los siguientes aspectos, entre otros: flujo operacional de la infraestructura, estado de los componentes críticos y distribución del personal trabajador y usuario.

Paso 2. Caracterización de la infraestructura y amenazas de interés

En este paso se espera lograr la obtención de información disponible de la infraestructura seleccionada y amenaza de interés, la cual será utilizada en el estudio de riesgo de la Fase II de la presente metodología.

Se realizará una caracterización básica, con la información que se encuentre disponible, tanto de la infraestructura como de las amenazas que han sido seleccionadas para el análisis de riesgo. Esta caracterización se realiza con información existente, la cual por lo general se encuentra dispersa pero disponible en diversas instituciones.

Por razones de disponibilidad de recursos y/o de tiempo, el análisis de riesgo podría realizarse sólo en algunos de los componentes de la infraestructura de interés, para lo cual se deberá priorizar la infraestructura, componentes y equipos por su importancia relativa y exposición a la amenaza.

Caracterización básica de la infraestructura

En esta actividad se considera la recopilación de información de los componentes, equipos y suministros indispensables para el normal funcionamiento de la infraestructura expuesta, las cuales se detallan a continuación, entre otras:

- ▶ Estudios de sitio/suelo.
- ▶ Memorias o criterios de diseño y/o construcción de la infraestructura.
- ▶ Planos generales (arquitectónicos) y detalle (estructurales) de las edificaciones, equipos, y otros.
- ▶ Reportes y/o memorias de operación y funcionamiento de la infraestructura.
- ▶ Informes de mantenimiento, siniestros y/o daños.

La disponibilidad y acceso a la información anterior dependerá de factores tales como antigüedad de la infraestructura, que por lo general se dificulta en el caso de infraestructura antigua, así como de las políticas y prácticas sobre generación, archivo y acceso a la información por parte de las instituciones encargadas de la operación y administración de la infraestructura. De preferencia se debiera obtener información en formato digital.

En la caracterización básica de la infraestructura deberán participar las instituciones vinculadas al diseño, operación y/o mantenimiento, correspondientes a los Grupos 1 y 2, cuyas funciones y actividades se presentan en la tabla 4:

Tabla 4. Roles y responsabilidades de los actores para la caracterización básica de la infraestructura objeto de estudio de riesgo

Instituciones	Paso 2. Caracterización básica de la infraestructura . Roles y actividades
<p>Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas a la regulación, diseño y operación de la infraestructura bajo análisis (ministerios, empresas estatales, empresas privadas).</p>	<p>Individualizar la infraestructura, componentes y/o equipos que conforman el sistema en estudio; Definir la normatividad y criterios de diseño que deben cumplir las diferentes infraestructuras, componentes y/o equipos; Recopilación y gestión de la información generada en el estudio.</p>
<p>Grupo 2: Operadores de la infraestructura, autoridades/instituciones locales sectoriales encargadas de la operación, planificación, regulación e inspección de la infraestructura de interés. Representantes de gobiernos locales (Municipio, Departamento, Provincia, entre otros).</p>	<p>Caracterizar funcional y físicamente la infraestructura, componentes y/o equipos identificados (función que desempeña, vínculo con otros componentes, entre otros); Recopilación y gestión de la información generada en el estudio.</p>

Caracterización básica de las amenazas

En esta actividad se recopilará la información existente que permita caracterizar las amenazas que serán objeto de estudio, las cuales habitualmente están disponible en instituciones técnicas y científicas encargadas del estudio y monitoreo de amenazas naturales a nivel nacional o local (Grupo 3), ya sea en forma de mapas de peligro, informes narrativos u otros medios.

Algunos parámetros que habitualmente se usan para caracterizar las distintas amenazas se presentan en la tabla 5, que se presenta a continuación:

Tabla 5. Algunos parámetros habituales para caracterización de amenazas

Tipo de amenaza	Parámetros de caracterización
Sismicidad	<p>Magnitud Richter (Ms) Escala de Mercalli Modificada (MM) Momento sísmico (Mw) Aceleración del suelo (g)</p>
Tsunami	<p>Altura máxima de inundación Tiempo de arribo Dirección de propagación Área afectada Período de retorno Grado del tsunami (según escala Inamura - Iida)</p>
Movimientos en masa	<p>Pendiente taludes Tipo de suelo</p>

Tipo de Amenaza	Parámetros de caracterización
Movimientos en masa	Volumen Velocidad de reptación
Viento	Velocidad máxima y promedio sostenida de viento Escala Saffir-Simpson para huracanes
Inundaciones	Caudal Profundidad/altura de agua Velocidad del agua Duración Pluviosidad/precipitaciones Superficie de inundación
Vulcanismo	Tipo de volcán Frecuencia de ocurrencia Zonas expuestas a flujo lava, lahares, piroclastos, cenizas Características de cenizas Duración de proceso eruptivo

Para caracterizar las amenazas que serán sujetas al análisis de riesgo, deberían participar principalmente instituciones del Grupo 3, y también podrán contribuir las instituciones del Grupo 1 y 2, cuyos roles y actividades se detallan en la tabla 6:

Tabla 6. Roles y responsabilidades de los actores para la caracterización básica de las amenazas

Instituciones	Paso 2 - Caracterización básica de las amenazas Roles y actividades
Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas a la regulación, diseño y operación de la infraestructura bajo análisis (ministerios, empresas estatales, empresas privadas).	Invitar y asegurar el involucramiento de las instituciones técnico científicas (Grupo 3) para que provean la información básica sobre amenaza; Identificar zonas y/o componentes expuestos a diferentes amenazas naturales; Recopilación y gestión de la información generada en el estudio.
Grupo 2: Operadores de la infraestructura, autoridades/instituciones locales sectoriales encargadas de la planificación, regulación e inspección de la infraestructura de interés.	Proporcionar información histórica y zonas propensas a diversas amenazas naturales; Compartir información existente (mapas, documentos, microzonificación, entre otros) relacionados con las amenazas en el territorio donde se emplaza el sistema/ infraestructura; Validar mapas de amenazas que sean elaborados por instituciones técnico científicas (Grupo 3); Recopilación y gestión de la información generada en el estudio.
Grupo 3: Instituciones técnicas, científicas o académicas (universidades) encargadas del estudio y monitoreo de amenazas naturales que serán consideradas en el estudio.	Proveer información histórica sobre frecuencia e intensidad de los fenómenos naturales en área de estudio; Caracterizar las amenazas presentes a las cuales está expuesta la infraestructura (mapas y/o estudios de exposición).

Paso 3. Definición de los objetivos e indicadores de desempeño

El objetivo de este paso es establecer un consenso entre los actores relevantes para definir a priori las funciones de cada una de las infraestructuras que deberían continuar operando en caso de ocurrir un desastre, asimismo definir el “riesgo aceptable” que se está dispuesto a asumir frente a la ocurrencia de un evento desastroso. El riesgo aceptable se debe definir de manera independiente para las distintas infraestructuras y amenazas consideradas.

En este paso la institución interesada en el desarrollo y resultados del estudio de riesgo deberá definir los objetivos e indicadores de desempeño de la infraestructura seleccionada frente a las amenazas consideradas. Los objetivos y/o indicadores que sean definidos en este paso posteriormente serán validados o modificados durante el desarrollo y conclusiones de la Fase II - Identificación de riesgo.

Definición de objetivos de desempeño

La presente metodología establece 5 objetivos de desempeño señalados en la tabla siguiente, para evaluar el comportamiento de las infraestructuras ante un evento catastrófico.

Tabla 7. Posibles objetivos de desempeño

▶ Proteger la seguridad del personal y usuarios (proteger la vida);
▶ Proteger la seguridad de las comunidades y sus bienes (proteger vida, bienestar y patrimonio);
▶ Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema (proteger funcionamiento);
▶ Reducir las pérdidas económicas y (proteger inversión y negocio);
▶ Evitar el daño al medioambiente (proteger medioambiente)

Para definir los objetivos de desempeño de la infraestructura frente a las amenazas consideradas, se espera la contribución de las instituciones que se detallan a continuación:

Tabla 8. Roles y responsabilidades de los actores para la definición de los objetivos de desempeño

Instituciones	Paso 3 - Definición de objetivos de desempeño. Roles y actividades
Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas a la regulación, diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura bajo análisis (ministerios, empresas estatales, empresas privadas).	Identificar y proveer los instrumentos normativos y vinculantes que definan los objetivos de desempeño para la infraestructura y amenaza considerada; Organizar y convocar, de ser necesario, reuniones de trabajo con otros actores relevantes para definir los objetivos de desempeño que apliquen.
Grupo 2: Operadores de la infraestructura, instituciones locales sectoriales encargadas de la operación, planificación, regulación e inspección de la infraestructura de interés. Representantes de gobiernos locales (Municipio, Departamento, Provincia, entre otros).	Identificar los instrumentos normativos y vinculantes que definan los objetivos de desempeño para la infraestructura y amenaza considerada.

Las instituciones de los Grupos 1 y 2 abordarán las siguientes acciones para decidir los objetivos de desempeño aplicables a cada una de las infraestructuras seleccionadas:

1. Revisar si las normas nacionales e internacionales a las cuales el país esté suscrito, relacionadas con la planificación, diseño, construcción y funcionamiento de las infraestructuras de interés, cuentan con consideraciones respecto a la seguridad frente a las amenazas de interés;
2. Si el marco normativo nacional no ofreciera orientaciones sobre los objetivos de desempeño, es posible adoptar normativas y marcos legales de otros países que hagan referencia a la seguridad de la infraestructura frente a las amenazas de interés;
3. Convocar a grupos técnicos de instituciones y profesionales (Grupo 3) afines al tipo de infraestructura, para definir los objetivos de desempeño.

Los documentos normativos que resultan de utilidad para respaldar los objetivos de desempeño son al menos los siguientes: normas de diseño; reglamentos de funcionamiento; planes operativos; planes maestros; contratos de concesión; pólizas de seguros, planes de emergencia o contingencia.

En el cuadro 1 se presentan las normas de diseño sismorresistente de Chile y Perú, que hacen referencia a algunos de los objetivos de desempeño mencionados anteriormente.

Cuadro 1. Objetivos de desempeño explícitos en normas de diseño sismorresistente en Chile y Perú

NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE" DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES DEL PERÚ



Filosofía y principios del diseño sismorresistente

La filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdida de vidas humanas.
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad.

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

- a. La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- c. Para las edificaciones esenciales, (definidas en la tabla N° 5 de la Norma), se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

NORMA CHILENA OFICIAL (NCh 433 Of 96) "DISEÑO SISMICO DE EDIFICIOS"



Principios e hipótesis básicas

Esta norma, aplicada en conjunto con las normas de diseño específicas para cada material, está orientada a lograr que las estructuras:

- a. Resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada.
- b. Limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad.
- c. Aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa.

Definición de indicadores de desempeño

Una vez que se hayan definido los objetivos de desempeño que aplican para la infraestructura de interés bajo la amenaza expuesta, se deberá discutir a priori posibles indicadores de desempeño que permitan definir el riesgo aceptable. Dichas discusiones se deberán realizar entre los involucrados de los Grupos 1 y 2 para cada uno de los objetivos establecidos.

Para definir los indicadores de desempeño asociados a cada uno de los objetivos, se debe tener presente que cumplan con cada una de las siguientes características:

- ▶ **Realista:** Que sea posible de obtener.
- ▶ **Específico:** Que sea claro sobre qué se desea observar.
- ▶ **Medible:** Que sea posible cuantificar usando unidades relevantes.

Los indicadores de desempeño deben por lo general, en base al criterio de los cinco objetivos predefinidos en el capítulo anterior, evitar el daño en la infraestructura y su funcionamiento para eventos menores y recurrentes, permitir impactos menores para eventos moderados y establecer límites para eventos mayores con gran período de retorno.

En la tabla 9 se presentan algunos indicadores utilizados habitualmente para verificar el cumplimiento de los objetivos de desempeño, dependiendo del tipo de infraestructura que se trate. Tanto las unidades como límites aceptables podrían variar.

Tabla 9. Ejemplos genéricos de indicadores de desempeño

Objetivos de Desempeño	Indicadores de desempeño de un sistema
Proteger la seguridad del personal	Accidentes y afectación a la vida y salud de las personas (número de personas afectadas, muertes, lesiones).
Proteger la seguridad y bienestar de la comunidad y sus bienes	Pérdidas de capital, propiedad y bienes de las personas (\$); Accidentes y afectación a la vida y salud (número de personas afectadas, muertes, lesiones).
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema	Alteraciones en servicios (% población, capacidad remanente); Tiempo de interrupción (horas/días).
Reducir pérdidas económicas	Pérdidas de capital y/o costos adicionales (\$); Pérdidas de rentabilidad (\$).
Evitar el daño medioambiental	Derrames, incendios, explosiones, entre otros.

Para cierto tipo de infraestructura, y considerando sus características de funcionamiento o extensión territorial (carreteras, líneas de transmisión, entre otros) podría resultar conveniente definir indicadores de desempeño para los diferentes componentes y no sólo para la infraestructura como un todo.

En la propuesta de indicadores de desempeño deberán participar las instituciones vinculadas a la operación y regulación de la infraestructura, correspondientes a los Grupos 1 y 2, cuyas funciones y actividades se detallan a continuación:

Tabla 10. Roles y responsabilidades de los actores para la definición de los indicadores de desempeño

Instituciones	Definición de objetivos e indicadores de desempeño. Roles y actividades
Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas a la regulación y diseño la infraestructura bajo análisis (ministerios, empresas estatales, superintendencias).	Establecer los objetivos de desempeño para la infraestructura en análisis, en base al marco normativo nacional. Validar los indicadores de desempeño definido por los operadores.
Grupo 2: Operadores de la infraestructura, instituciones locales sectoriales encargadas de la planificación, regulación e inspección de la infraestructura de interés.	Establecer los indicadores de desempeño para la infraestructura en análisis, para cada uno de los objetivos de desempeño que apliquen.

FASE II. Identificación del riesgo

Esta fase tiene por objetivo analizar el riesgo ante desastres naturales e identificar las posibles acciones para reducir el riesgo de desastres tal que forma que aumente la resiliencia de la infraestructura ante estos potenciales eventos.

Considerando las incertidumbres presentes en los eventos de la naturaleza, la presente metodología recomienda desarrollar estudios de análisis de riesgo probabilista (ver cuadro 2), los cuales permitirán obtener información detallada y cuantitativa sobre los niveles de riesgo frente a varias escalas de magnitud y tipo de amenazas, para orientar las acciones necesarias para la reducción del riesgo.

Cuadro 2. Tipos de análisis de riesgo

Análisis Probabilista: Provee resultados detallados de manera cuantitativa, los cuales se basan en el uso de información precisa y herramientas de modelamiento y análisis probabilístico.

Análisis Determinístico: Se caracteriza por ser un análisis cuantitativo, en base a información histórica o estadística para caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y desempeño del componente, e incluye la validación y obtención de información a nivel de terreno.

Enfoque metodológico

Para el análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo de las infraestructuras seleccionadas se plantean las siguientes actividades:

- ▶ Estimación y caracterización de las amenazas
- ▶ Análisis de vulnerabilidad
- ▶ Análisis de riesgo
- ▶ Identificación de posibles medidas de reducción de riesgo

En el análisis de riesgo deberán participar las instituciones que se indican en la tabla 11:

Tabla 11. Roles y actividades institucionales para análisis de riesgo e identificación de medidas de mitigación

Instituciones	Roles y actividades
Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas a la regulación y diseño de la infraestructura bajo análisis (ministerios, empresas estatales, empresas privadas).	Responsabilidad de realización del Estudio de análisis de riesgo, coordinando con las instituciones técnicas correspondientes, definiendo estructura organizacional para el desarrollo del estudio; Definir el alcance del estudio de riesgo (tipo de amenazas, definición de la infraestructura a estudiar, selección tipo de plataforma de estudio de riesgo, entre otros); Entregar la información existente necesaria para el desarrollo del estudio; Toma de decisiones sobre el uso de los resultados del estudio para la gestión de riesgo.
Grupo 2: Operadores de la infraestructura, instituciones locales sectoriales encargadas de la operación, planificación, regulación e inspección de la infraestructura de interés.	Entregar la información existente necesaria para el desarrollo del estudio; Disponibilidad de la infraestructura las respectivas inspecciones visuales; Validar los resultados de los estudios.
Grupo 3: Instituciones técnicas, científicas o académicas (universidades) encargadas del estudio y monitoreo de amenazas naturales que serán consideradas en el estudio.	Dar apoyo técnico al desarrollo del estudio (operación de la plataforma, inspecciones visuales de terreno, análisis de información entregada, revisión de estudios, entre otros).

Estimación y caracterización de las amenazas

Para cada una de las amenazas identificadas (sismo, inundación, deslizamiento, tsunami, entre otros), se define un conjunto de eventos en base a información histórica y documental, con sus respectivas frecuencias de ocurrencia, que representan de manera integral la amenaza correspondiente. Cada escenario contiene la distribución espacial de parámetros que permiten construir la distribución de probabilidad de las intensidades producidas por su ocurrencia.

Como ejemplos, para el caso de sismo y tsunami, se plantean las siguientes expresiones:

▲ Caso Sismo

En este caso el peligro sísmico es expresado en términos de tasas de excedencia de intensidades (a), según la siguiente ecuación:

$$v(a) = \sum_{i=1}^N \int_{M_o}^{M_u} -\frac{d\lambda_i(M)}{dM} \cdot Pr(A > a | M, R_i) dM$$

Donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas N que contribuyen al peligro sísmico del sitio; $Pr(A > a | M, R_i)$ es la probabilidad que la intensidad A exceda un cierto valor a , dada la magnitud del sismo M y la distancia R_i entre la i -ésima fuente y el sitio; $\lambda_i(M)$ es la tasa de excedencia

de magnitudes de la i -ésima fuente. La integral se realiza desde M_O hasta M_U , lo cual indica que se toma en cuenta la contribución de todas las magnitudes que es capaz de generar la fuente, siendo M_O y M_U la magnitud máxima y mínima, respectivamente, que puede generar la fuente.

Esta función asocia a cada valor del parámetro una probabilidad anual de excedencia, o bien un período de retorno, que se define como el valor inverso de esa probabilidad. Por ejemplo un resultado con una intensidad VIII en el emplazamiento con probabilidad anual de ser superada de 0.002, o bien esa misma intensidad con período de retorno de 500 años.

▲ Caso Tsunami

En este caso es posible estimar la tasa de excedencia del parámetro h (altura de inundación), mediante la siguiente ecuación, basada en propuesta de Esteva (1967) y Cornell (1968):

$$v(h) = \sum_{k=1}^{N_{\text{eventos}}} \Pr(H > h | \text{Evento}_k) \cdot F_A(\text{Evento}_k)$$

Donde $v(h)$ es la tasa de excedencia del parámetro de intensidad H , $\Pr(H > h | \text{Evento}_k)$ es la probabilidad que la profundidad de inundación calculada exceda una profundidad de inundación específica h dado que el k -ésimo evento ha ocurrido, y $F_A(\text{Evento}_k)$ es la frecuencia anual de ocurrencia del k -ésimo evento; N_{eventos} son todos los eventos que potencialmente generan tsunamis en el sitio de interés. El inverso de $v(h)$ es el período de retorno.

Al igual que el caso sísmico, esta función asocia a cada valor del parámetro una probabilidad anual de excedencia, o bien un período de retorno, que se define como el valor inverso de esa probabilidad. Por ejemplo un resultado con una altura de inundación de 10 m en el emplazamiento con probabilidad anual de ser superada de 0.002, o bien esa misma altura de inundación con período de retorno de 500 años.

Análisis de vulnerabilidad

Debe asignarse a cada una de las clases estructurales una función de vulnerabilidad para cada tipo de amenaza. Esta función caracteriza el comportamiento de la construcción durante la ocurrencia de fenómenos amenazantes. Las funciones de vulnerabilidad definen la distribución de probabilidad de las pérdidas como función de la intensidad producida durante un escenario específico. Se definen mediante una curva de valor esperado del daño y una curva de desviación estándar del daño, que dependen de la intensidad.

Un ejemplo de actividades que permiten identificar las características estructurales y constructivas específicas de los componentes de infraestructura a ser analizados para identificar su vulnerabilidad son:

- a) campaña en terreno que tiene por objetivo revisar el estado actual de la infraestructura crítica, una complementación de la información existente recopilada en la Fase I de la presente metodología y una caracterización desde un punto de vista de su diseño; y
- b) obtención de las funciones de vulnerabilidad a partir de las funciones de fragilidad para cada componente de infraestructura a ser analizado, sobre la base de la información recopilada. Las

funciones de vulnerabilidad relacionan la medida de intensidad de la amenaza con el valor esperado del daño y su desviación estándar.

Como ejemplo, para el caso de funciones de fragilidad causada por sismo, la probabilidad condicional $P(D > DS_i | X = x)$, de alcanzar o exceder un determinado nivel de daño DS_i , para un componente cuyo daño queda controlado por el parámetro de demanda sísmica X , se puede establecer a partir de la siguiente ecuación:

$$P(D > DS_i | X = x) = \Phi \left[\frac{\ln \left[\frac{x}{x_{mi}} \right]}{\beta_i} \right]$$

Donde D denota el nivel de daño alcanzado, X es una variable que denota el parámetro que controla el daño en la estructura o componente, Φ es la función de densidad de probabilidad normal acumulada, x_{mi} es la demanda media capaz de detonar el i -ésimo nivel de daño, tratada como una variable aleatoria con distribución de probabilidad de tipo lognormal y desviación estándar β_i . La desviación estándar β_i considera tanto la aleatoriedad como el desconocimiento de las demandas sísmicas y de la capacidad resistente de las estructuras.

Análisis de riesgo

A partir de los resultados de la estimación de las amenazas (sismo, inundación, deslizamiento, tsunami, entre otros), así como las funciones de vulnerabilidad asignadas a cada componente, es posible realizar el análisis probabilista de riesgo; es decir, cuantificar el daño y pérdida producida ante la ocurrencia de un evento probable.

El objetivo del análisis probabilista de riesgo es determinar la distribución de probabilidad de las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los activos expuestos, como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales.

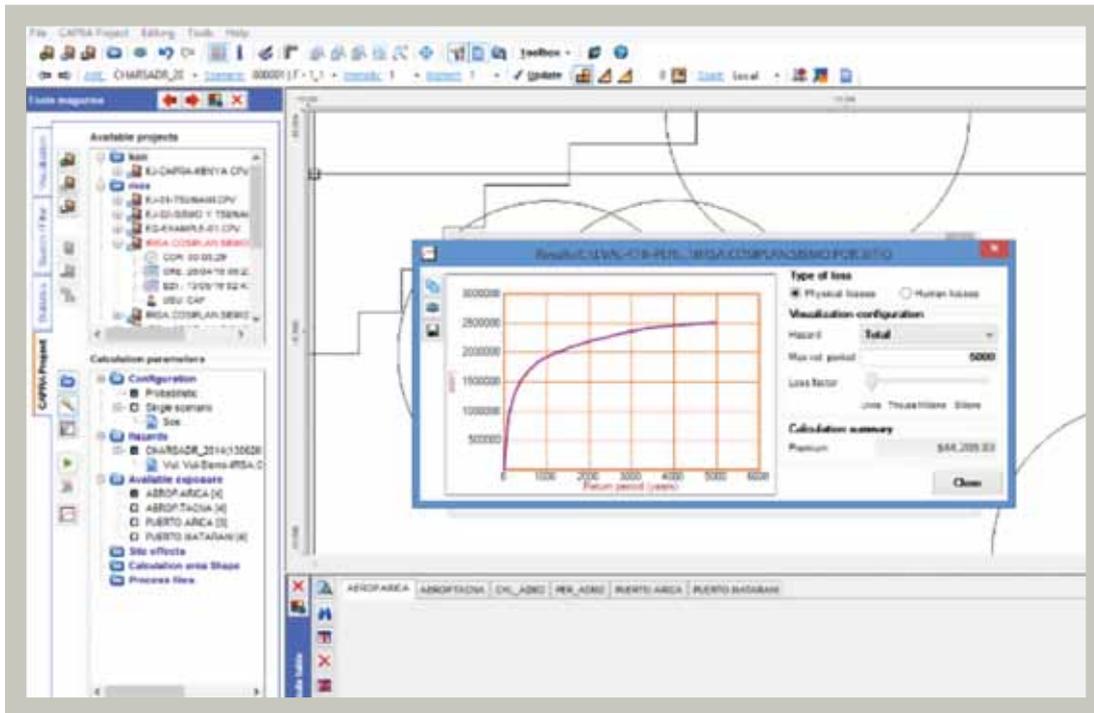
El riesgo por amenazas naturales es comúnmente descrito mediante la llamada curva de pérdidas (loss curve) que especifica las frecuencias, usualmente anuales, con que ocurrirán eventos en que se exceda un valor especificado de pérdidas. Esta frecuencia anual de excedencia se conoce también como tasa de excedencia, y puede calcularse mediante la siguiente ecuación, que es una de las múltiples formas que adopta el teorema de la probabilidad total:

$$v(p) = \sum_{i=1}^{\text{Eventos}} \Pr(P > p | \text{Evento } i) F_A(\text{Evento } i)$$

En la ecuación anterior $v(p)$ es la tasa de excedencia de la pérdida p y $F_A(\text{Evento } i)$ es la frecuencia anual de ocurrencia del evento i , mientras que $\Pr(P > p | \text{Evento } i)$ es la probabilidad de que la pérdida sea superior a p , dado que ocurrió el i -ésimo evento. La suma en la ecuación anterior se hace para todos los eventos potencialmente dañinos. El inverso de $v(p)$ es el período de retorno de la pérdida p .

Un ejemplo de aplicación del análisis de riesgo es empleando la información digital resultado de los análisis de amenaza (archivos digitales en formato específico que requiere la plataforma computacional para llevar a cabo los análisis de riesgo probabilista), vulnerabilidad (funciones de vulnerabilidad) y utilizando un modelo o plataforma computacional de análisis de riesgo probabilista (ver figura siguiente).

Figura 3. Análisis Probabilista de Riesgo en la plataforma CAPRA



Por ejemplo, para calcular los daños y las pérdidas asociadas frente a un evento determinado, se utilizan las funciones de vulnerabilidad para cada uno de los componentes incluidos en el inventario de activos expuestos para cada una de las amenazas consideradas, las cuales son agregadas para obtener el riesgo de la infraestructura completa.

Para calcular las pérdidas económicas directas sobre una infraestructura, se utiliza el porcentaje de daño obtenido en el análisis de vulnerabilidad traducido a pérdidas económicas. El riesgo medido en términos económicos, comúnmente utilizados, son los que se describen a continuación:

- ▲ **Pérdida Máxima Probable (Probable Maximum Loss-PML):** la PML representa el valor de pérdida global en la infraestructura analizada para una tasa de excedencia dada (el inverso de la tasa de excedencia es el período de retorno). Dependiendo de la capacidad de la entidad para manejar el riesgo, se puede optar por gestionar pérdidas hasta determinado período de retorno.
- ▲ Los escenarios de PML para diferentes períodos de retorno, se expresan a través de la **Curva de Excedencia de Pérdida (CEP)**, la cual representa la frecuencia anual promedio con que determinada pérdida económica se verá excedida.
- ▲ A través del CEP se puede determinar la **Pérdida Anual Esperada (PAE)**, se calcula como la suma del producto entre las pérdidas esperadas para un determinado evento, y la frecuencia de ocurrencia de dicho evento en un período de un año, para todos los eventos estocásticos considerados. En términos probabilistas, la PAE es la esperanza matemática de la pérdida anual.

En la tabla 12 se presentan algunas plataformas de libre uso existentes que permiten la realización de estudios de análisis de riesgos:

Tabla 12. Plataformas para estudios de riesgos

Instrumento metodológico para análisis de riesgo	Breve descripción
	<p>CAPRA es una Plataforma de Información sobre Riesgos de Desastres para la toma de decisiones empleando metodologías y herramientas disponibles para evaluar y expresar el riesgo probabilista de desastres. Desarrollado por expertos regionales, CAPRA aprovecha y fortalece las iniciativas existentes, con miras a consolidar metodologías para la evaluación de amenazas y riesgos probables y aumentar la concienciación acerca de la gestión de riesgo en la región.</p> <p>Más información: http://www.ecapra.org/</p>
	<p>HAZUS es una metodología estandarizada de aplicación a nivel nacional, en Estados Unidos utilizada por Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) para estimar las pérdidas potenciales de los desastres. Contiene modelos de estimación de pérdidas potenciales de terremotos, inundaciones y huracanes.</p> <p>HAZUS utiliza Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar los impactos físicos, económicos y sociales de los desastres. Ilustra gráficamente los límites de determinadas ubicaciones de alto riesgo debido a terremotos, huracanes e inundaciones.</p> <p>HAZUS se utiliza para la mitigación y recuperación, así como la preparación y respuesta.</p> <p>Más información disponible: http://www.fema.gov/hazus</p>

Identificación de posibles medidas de reducción de riesgo

Una vez identificado el riesgo, es necesario identificar las posibles medidas de reducción de riesgo (o mitigación del riesgo) que permitirían asegurar los niveles de desempeño deseados y cumplir con los objetivos e indicadores de desempeño definidos en la Fase I. Las alternativas son variadas, las cuales incluyen en principio el refuerzo estructural de la infraestructura. Para las diferentes opciones de medidas de reducción de riesgo, se debería realizar un análisis costo beneficio preliminar, complementándose en la fase siguiente (Fase III - Reducción del riesgo).

FASE III. Reducción del riesgo

Esta Fase tiene por objetivo la definición de las acciones pertinentes a implementar para gestionar el riesgo, que permitan incrementar la resiliencia tanto de la infraestructura como los servicios que presta la misma.

Con los resultados obtenidos en la Fase II - Análisis de riesgo, existen diferentes opciones para que el operador de la infraestructura aumente su resiliencia frente a la ocurrencia de un evento de amenaza, las cuales se presentan en el Diagrama 1.

En el Diagrama 2 se presentan las diferentes estrategias para gestionar el riesgo, los medios y posibles actividades que se pueden tener en cuenta al momento de planificar e implementar acciones de gestión de riesgo, las cuales se desarrollan con más detalle a continuación.

Diagrama 1. Posibles aplicaciones con los resultados del análisis de riesgo

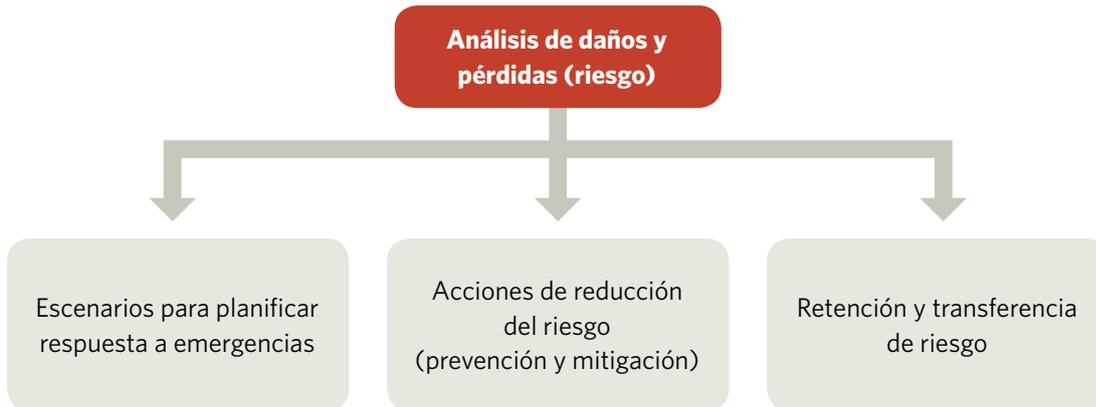
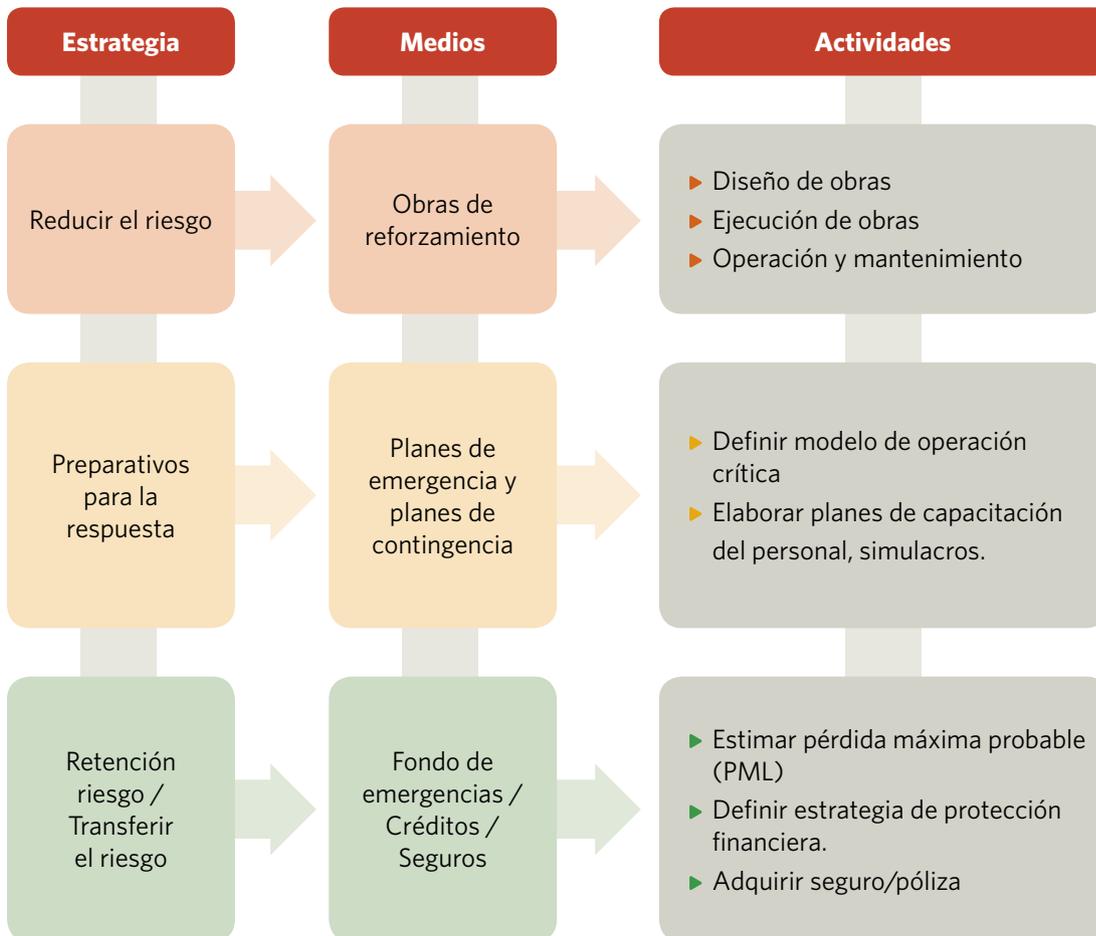


Diagrama 2. Algunas estrategias para aumentar la resiliencia de un sistema o infraestructura en riesgo



Será el operador de la infraestructura o bien la institución normativa o reguladora la cual defina las acciones para gestionar el riesgo, las cuales dependerán de los recursos disponibles y que debería traducirse en un programación de implementación de acciones de carácter inmediato, así como de mediano y largo plazo.

Reducir el riesgo

La reducción de riesgo se considera como una acción importante para la Gestión de Riesgo de Desastres, y complementario a las acciones de preparación para la emergencia.

La reducción de riesgo como un proceso, significará la priorización de las opciones de reducción de riesgo según su importancia y/o recursos disponibles para su implementación. Por lo tanto, las diferentes opciones de reducción del riesgo se implementarán de manera progresiva y planificada junto con otras acciones de operación, mantenimiento y expansión de la infraestructura.

Las principales medidas para la reducción del riesgo consideradas en esta metodología, corresponden a obras de reforzamiento, basadas en las posibles medidas de reducción de riesgo, identificadas en la Fase II de la presente metodología, para lo cual se requerirá la implementación de un plan de actividades tendientes a su diseño, ejecución, operación y mantenimiento.

Diseño

Para el diseño se deberán considerar básicamente las siguientes actividades:

- ▶ Revisión de las posibles medidas de reducción de riesgo, identificadas en la Fase II de la presente metodología.
- ▶ Revisión de información existente de la infraestructura.
- ▶ Propuesta, a nivel de prediseño, de alternativas de obras de reducción de riesgo, con estimación de costos.
- ▶ Análisis de costo/beneficio (ver cuadro 3), y selección de alternativa.

Cuadro 3. Análisis de costo/beneficio

El análisis costo/beneficio aplicado en la estimación del riesgo constituye una herramienta clave para la evaluación de decisiones y políticas relacionadas con el manejo estratégico del riesgo. El análisis de manera general podría considerar las siguientes acciones:

- ▲ **Determinar los costos directos de las medidas de mitigación:** para cada una de las medidas de mitigación propuesta se debe estimar el costo directo de implementación, incluyendo posibles costos de capital.
- ▲ **Determinar los beneficios de las medidas de mitigación:** los beneficios esperados por la implementación de determinada medida, son en principio una reducción en el nivel de vulnerabilidad, lo cual implica una reducción en el daño, reducción en pérdidas, reducción en la magnitud del lucro cesante, y reducción en el número de personas afectadas.
- ▲ **Calcular el atractivo de las diferentes alternativas de mitigación planteadas:** el atractivo es calculado por medio de la relación entre el costo de la implementación de la medida y los beneficios asociados a dicha implementación. Se emplea una tasa de descuento representativa que permita convertir los beneficios futuros y posibles costos futuros a valor

presente neto (VPN) o relación beneficio-costo (B/C). Se considera atractiva una medida de mitigación desde un punto de vista económico, cuando el VPN es positivo, o de manera equivalente, la relación B/C es mayor a uno.

La mejor alternativa corresponderá a la que presente un mayor VPN, o equivalentemente un mayor B/C.

- ▶ Desarrollo de ingeniería básica (topografía, geología, geotecnia, hidrología, entre otros), para la alternativa seleccionada.
- ▶ Desarrollo de proyecto de ingeniería definitiva, para su construcción.

Ejecución

Las obras de reducción de riesgo a ejecutar, corresponderán a las definidas en el proyecto de ingeniería definitiva, y en general se consideran las siguientes actividades:

- ▶ Contratación de la construcción de las obras.
- ▶ Fiscalización de la ejecución de las obras.

Operación y mantenimiento

Corresponderá al mantenimiento y operación de las obras de reducción de riesgo ejecutadas, para su conservación y operación antes y después de la ocurrencia de un evento catastrófico. En general se consideran las siguientes actividades:

- ▶ Contratación del mantenimiento y operación.
- ▶ Fiscalización de la ejecución del mantenimiento y operación.

Preparativos para la respuesta

Considerando que los riesgos frente a desastres difícilmente pueden eliminarse del todo, y por más esfuerzos que se haga para reducir el riesgo, siempre existirá la posibilidad de que la infraestructura y componentes sean afectados por amenazas naturales. Por lo general, el contar con planes de emergencia y/o contingencia frente a situaciones de emergencia y/o desastres, forma parte de los marcos legales sectoriales, institucionales o de la normativa nacional referente a sistemas nacionales de gestión de riesgo, protección civil o similares. Asimismo, en infraestructura pública bajo regímenes de concesión, la elaboración de estos planes de contingencia es parte de las bases de los contratos.

El plan de emergencia puede realizarse en base a un evento determinado, identificando el peor escenario posible en términos de pérdidas económicas y de vidas humanas, en función de la intensidad de las amenazas que pueden llegar a afectar a la infraestructura en análisis. Los resultados del análisis anterior permite la definición de planes de emergencia para proteger a las personas, asegurar una capacidad operativa remanente post-desastre y sistemas de comunicaciones, evaluaciones de daños y disposición de los recursos económicos y humanos para atender la emergencia.

En los preparativos para la respuesta deberían participar las instituciones que se indican en la tabla 13:

Tabla 13. Roles y actividades institucionales en los preparativos para la respuesta

Instituciones	Roles y actividades
Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas a la regulación y diseño de la infraestructura bajo análisis (ministerios, empresas estatales, empresas privadas).	Elaborar planes estratégicos de continuidad de las operaciones.
Grupo 2: Operadores de la infraestructura, instituciones locales sectoriales encargadas de la operación, planificación, regulación e inspección de la infraestructura de interés.	Elaborar e implementar programas internos de protección, planes/protocolos específicos de respuesta a emergencias; Definir estrategia de liderazgo y personal: delegación de autoridad, sucesión, definir funciones esenciales, entrenamiento permanente y ejercicios de simulación o simulacros, entre otros; Definir estrategia de comunicaciones: de ámbito interno y externo, ser redundantes, disponibles 24/7 y protección de archivos esenciales, entre otros; Velar por que las instalaciones sean lo suficientemente seguras que permitan y faciliten la continuidad de su funcionamiento.
Grupo 3: Instituciones técnicas, científicas o académicas (universidades) encargadas del estudio y monitoreo de amenazas naturales que serán consideradas en el estudio.	Dar apoyo técnico en la elaboración y entrenamiento de planes operativos.

Retención y transferencia del riesgo

Cualquier tipo de emergencia o desastre implica una afectación financiera tanto a las instituciones operadoras de la infraestructura, a los usuarios, como a los gobiernos. Este impacto financiero en muchas oportunidades significa la reorientación y reprogramación de recursos financieros para atender las necesidades, reparar daños, asumir pérdidas y financiar costos adicionales producto del desastre, lo cual retrasa acciones de desarrollo que hayan sido planificadas y priorizadas antes del desastre.

En muchas oportunidades el impacto financiero de un desastre puede comprometer la liquidez y viabilidad financiera de un negocio, servicio o actividad productiva, razón por la cual la protección financiera frente a desastres busca establecer una combinación óptima de mecanismo o instrumentos financieros de retención y transferencia del riesgo, los cuales permitan acceder de manera ex post a recursos económicos oportunos, mejorando así la capacidad de respuesta ante la ocurrencia de un desastre y proteger el balance económico de una actividad, empresa o país.

La estrategia y medios para la protección financiera de un determinado país, actividad productiva o institución dependerán tanto de su naturaleza institucional, daños y pérdidas probables y de su resiliencia. Por lo cual la adopción de una estrategia de protección financiera debe ser un proceso estudiado, planeado y controlado, los cuales de manera genérica pueden considerar medios tales como:

- ▲ **Fondo de emergencia:** Recursos financieros asignados de manera regular (pueden ser acumulativos o no) especialmente designados para atender necesidades que surjan producto de una emergencia y desastres. El monto del fondo debe ser establecido mediante estudios de dimensionamiento de las pérdidas probables.
- ▲ **Créditos:** Las necesidades que surgen con una emergencia o desastre, pueden ser atendidas con créditos bancarios (ex antes o ex post) negociados y establecidos de manera previa con entidades bancarias nacionales e internacionales que ofrecen este tipo de productos para atender necesidades emergentes producto de un desastre.
- ▲ **Transferencia del riesgo:** Los seguros son uno de los instrumentos más utilizados para traspasar a terceros el riesgo financiero que puede significar un desastre. Una póliza de seguro puede cubrir las pérdidas de activos, pérdidas operacionales y/o lucro cesante.

Las acciones básicas para definir y dimensionar los medios de protección financiera, se inician con la estimación de la pérdida máxima probable (PML) que se puede experimentar a causa de una emergencia o desastre sobre los acervos, producción y/o flujos de capital. En base a la pérdida máxima probable, capacidades financieras de la institución interesada y las opciones disponibles en cuanto a créditos, seguros y fondos, se estará en condiciones de definir una estrategia de protección financiera que asegure la sostenibilidad y supervivencia de una institución luego de un desastre.

En el Capítulo 3 siguiente se presentan los resultados de la aplicación piloto para la gestión de riesgo en infraestructura de integración de COSIPLAN-IIRSA en Chile y Perú.





Resultados de la aplicación piloto para la gestión de riesgo en infraestructura de integración de COSIPLAN-IIRSA

La implementación de la aplicación piloto se inició en enero de 2015, y consideró el desarrollo de las actividades de la Fase I a la Fase II en infraestructuras de integración del PAE 2012-2022 ubicadas en territorio chileno y peruano, que forman parte del Grupo de Proyectos 5 del Eje Interoceánico Central, y que se ubican en la costa pacífico y en el área de mayor amenaza sísmica de la zona de silencio sísmico del sur del Perú y norte de Chile.

Se seleccionaron 5 infraestructuras de Chile y de Perú, para las cuales se desarrollaron las actividades descritas en la Fase I (selección de la infraestructura, caracterización de la infraestructura y

amenazas, y definición de objetivos e indicadores de desempeño). Posteriormente, se priorizaron dos infraestructuras de integración por país para desarrollar las actividades de la Fase II (análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción del riesgo).

Fase I. Selección de la infraestructura

Paso 1. Selección de la infraestructura

A continuación se presentan cada una de las acciones realizadas de acuerdo a la metodología establecida en el Capítulo 2 del presente documento:

Definición de amenaza de interés

Durante la reunión del GTE/GRD de COSIPLAN-IIRSA en Buenos Aires-Argentina, en el mes de octubre de 2014, los participantes acordaron realizar la implementación piloto en la infraestructura de integración de COSIPLAN-IIRSA contenida en el Grupo de Proyectos 5 del Eje de Integración Interoceánico Central, ya que dicho grupo fue identificado como el Grupo de Proyectos con más infraestructuras de integración en la zona de peligro sísmico y tsunami.

El silencio sísmico en el sur de Perú y norte de Chile tiene la atención de autoridades nacionales, locales, académicas y técnicas de ambos países. Se tiene plena conciencia que cuando se presente el evento que se espera, afectará a ambos países razón por la cual se han impulsado acciones de carácter nacional, local y binacional.

El “silencio sísmico en la zona sur de Perú y norte de Chile” es una amenaza relevante para las autoridades y comunidades de ambos países donde, en base a los estudios realizados por las instituciones técnico-científicas de ambos países, se prevé en esta zona un sismo “grande”, es decir cuya magnitud sea de 8,0 o superior, acompañado de tsunami en la costa del Océano Pacífico.

Por lo anterior, la amenaza sísmica con los potenciales tsunamis que esta puede generar en la costa pacífico, representan las amenazas de interés que motivan la aplicación piloto de la metodología.

Definición del área de influencia de la amenaza

Existe acuerdo entre científicos peruanos y chilenos, que existe una laguna (brecha, laguna, “gap” o silencio) sísmica en el norte de Chile y sur de Perú. Sismos de gran magnitud de origen interplaca (Plaza de Nasca y Placa Sudamericana) que históricamente han sido registrados entre las latitudes 15°S y los 24°S, correspondientes a las zonas entre el sur de Perú y el norte de Chile, lo cual coincide aproximadamente entre las localidades Ilo-Perú y Mejillones-Chile.

De acuerdo a los registros que cuentan ambos países, se considera la existencia de una laguna sísmica en esta zona de lo cual se infiere la madurez del ciclo sísmico de un gran evento, vale decir, la ocurrencia de un gran terremoto con tsunami asociado. Las zonas de ruptura que se han considerado

como base son las generadas por los terremotos de 1868 y 1877, ambos de magnitud $M_w = 8.8$ y que cuentan con un amplio registro de las características de su ocurrencia, como se puede apreciar en la figura 4.

Considerando la característica de la región interplaca en las zonas de subducción ésta no puede acumular esfuerzos por períodos superiores a 100 - 150 años, y es un hecho que la zona estudiada puede generar grandes terremotos interplaca (los últimos dos tuvieron ocurrencia hace más de 140 años). Por lo anterior esta zona puede ser considerada como una laguna sísmica con dos regiones asociadas principalmente con los terremotos de 1868 y 1877.

Sobre la base de estudios realizados por científicos en ambos lado de la frontera, se prevé en esta zona un sismo “grande”, es decir cuya magnitud sea de 8,0 o superior, acompañado de tsunami en la costa del océano pacífico.

En la figura 5 donde se presenta el análisis espacial de grandes sismos que han afectado a Chile y Perú durante los siglos XIX, XX y XXI se puede apreciar la ocurrencia de sismos de gran magnitud a lo largo de la costa pacífico de ambos países, donde se evidencia que la zona de silencio sísmico descrita anteriormente (Ilo-Perú y Mejillones-Chile) no han existido sismos de gran magnitud como los registrados durante el siglo XIX. Si bien se puede apreciar una actividad sísmica moderada en la zona de silencio sísmico entre los años 1995 y 2014 (ver figura 3), se puede apreciar que existen aún zonas del área comprendida entre Ilo-Perú y Mejillones-Chile donde no se han presentado eventos sísmicos de gran magnitud.

Figura 4. Zona de silencio sísmico en sur de Perú y norte de Chile



Figura 5. Análisis espacial grandes sismos (Siglos XIX, XX y XXI)¹

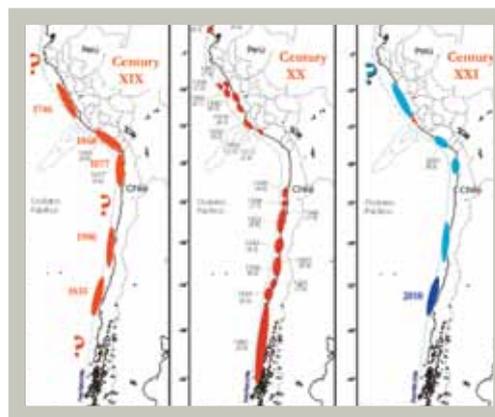
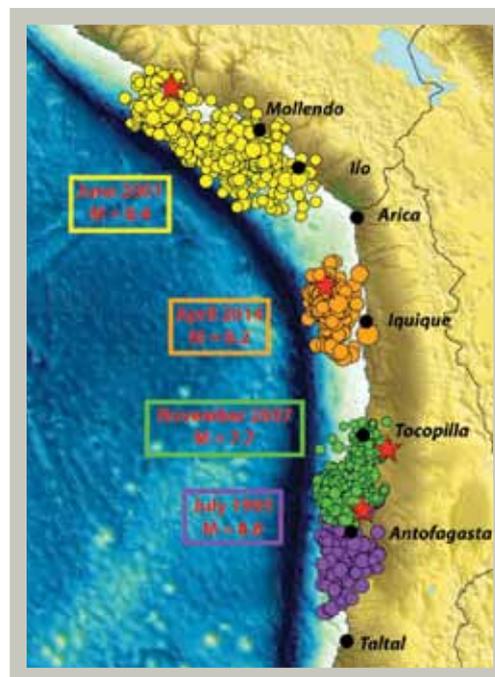


Figura 6. Análisis espacial grandes sismos 1995-2014, en zona de interés²



1. Instituto Geofísico del Perú (IGP) “El Instituto Geofísico del Perú y su aporte en la Gestión del riesgo en la Región Sur del Perú”, presentación durante la Reunión Gestión de Riesgo de Desastres COSIPLAN-IIRSA-UNASUR - Santiago de Chile, 19 enero 2015.
2. Centro Sismológico Nacional - Universidad de Chile. Mario Pardo “Sismotectónica y Peligro Sísmico Norte Chile - Sur Perú”, presentación durante la Reunión Gestión de Riesgo de Desastres COSIPLAN-IIRSA-UNASUR - Santiago de Chile, 19 enero 2015.

Por lo anteriormente expuesto, el área de influencia a ser considerada para la aplicación piloto de la metodología está definida por el borde costero de Perú y Chile entre las latitudes 15°S y los 24°S (aproximadamente entre las localidades Ilo-Perú y Mejillones-Chile).

Identificación de la infraestructura expuesta

En la zona de silencio sísmico del sur de Perú y norte de Chile que fue delimitada en el punto anterior, convergen cinco (5) Ejes de Integración y Desarrollo (EID) de COSIPLAN-IIRSA correspondientes al Plan de Acción de COSIPLAN-IIRSA 2012-2022 (PAE 2012-2022).

Figura 7. Ejes de Integración y Desarrollo (EID) de COSIPLAN-IIRSA que convergen en la zona de silencio sísmico de sur de Perú y norte de Chile



Tal como se señaló anteriormente, durante la reunión del GTE/GRD de COSIPLAN-IIRSA en Buenos Aires-Argentina (octubre 2014), se acordó realizar la implementación piloto en la infraestructura de integración de COSIPLAN-IIRSA contenida en el Grupo de Proyectos 5 del Eje de Integración Interoceánico Central, ya que dicho grupo fue identificado como el Grupo de Proyectos que con más infraestructura de integración se encuentra en la zona de peligro sísmico y tsunami.

Eje Interoceánico Central

En las siguientes figuras (8 y 9) se muestra el área de influencia del Eje Interoceánico Central y los grupos de proyectos asociados a este eje con sus respectivas áreas de influencia, donde se aprecia que parte del Grupo 5-Eje Interoceánico Central se ubica en la zona de silencio sísmico.

Grupo 5 - Eje Interoceánico Central

En la figura 9 se muestran los proyectos que forman parte del Grupo 5-Eje Interoceánico Central, donde se destaca la infraestructura ubicada en la zona de silencio sísmico.

En base a la información que se muestra en la figura 9, los proyectos que se encuentran emplazados en la zona de silencio sísmico del Grupo de Proyectos 5- Eje Interoceánico Central son los que se detallan a continuación:

Puerto

- ▶ Mejoramiento del Puerto de Arica.
- ▶ Mejoramiento del Puerto de Iquique.
- ▶ Modernización del Puerto de Ilo.
- ▶ Construcción de puerto multipropósito o mega puerto en Ilo.
- ▶ Mejoramiento del Puerto de Matarani.

Figura 8. Eje Interoceánico Central – Área de influencia y Grupos de Proyectos

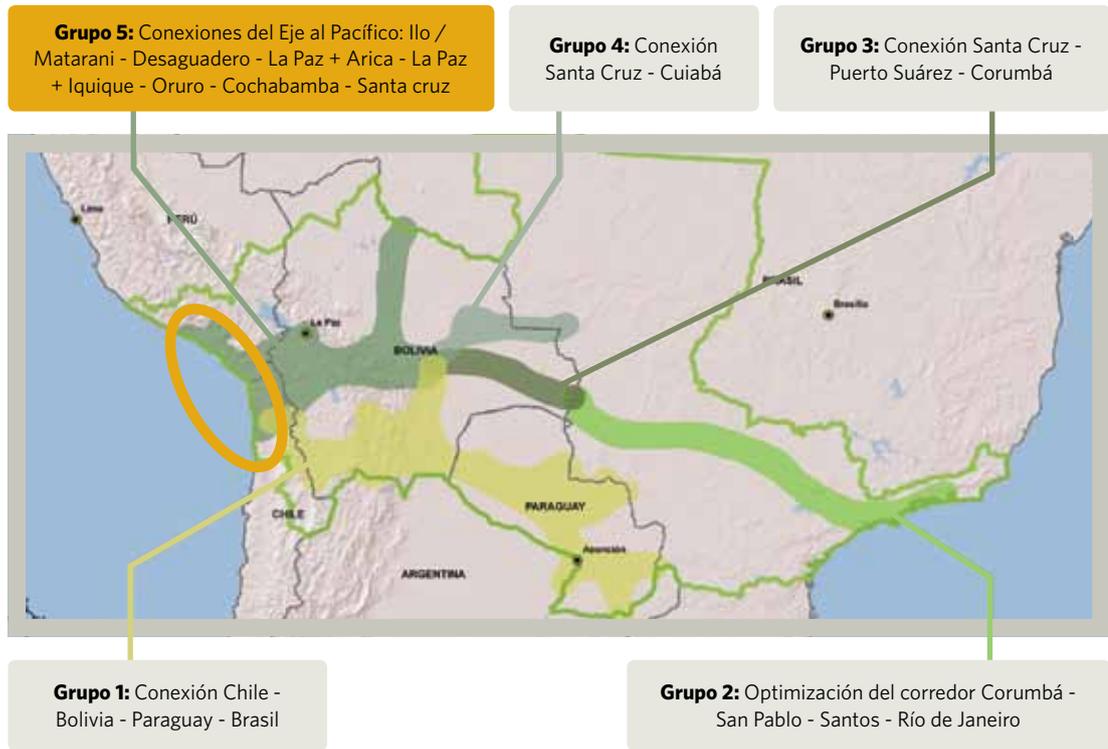
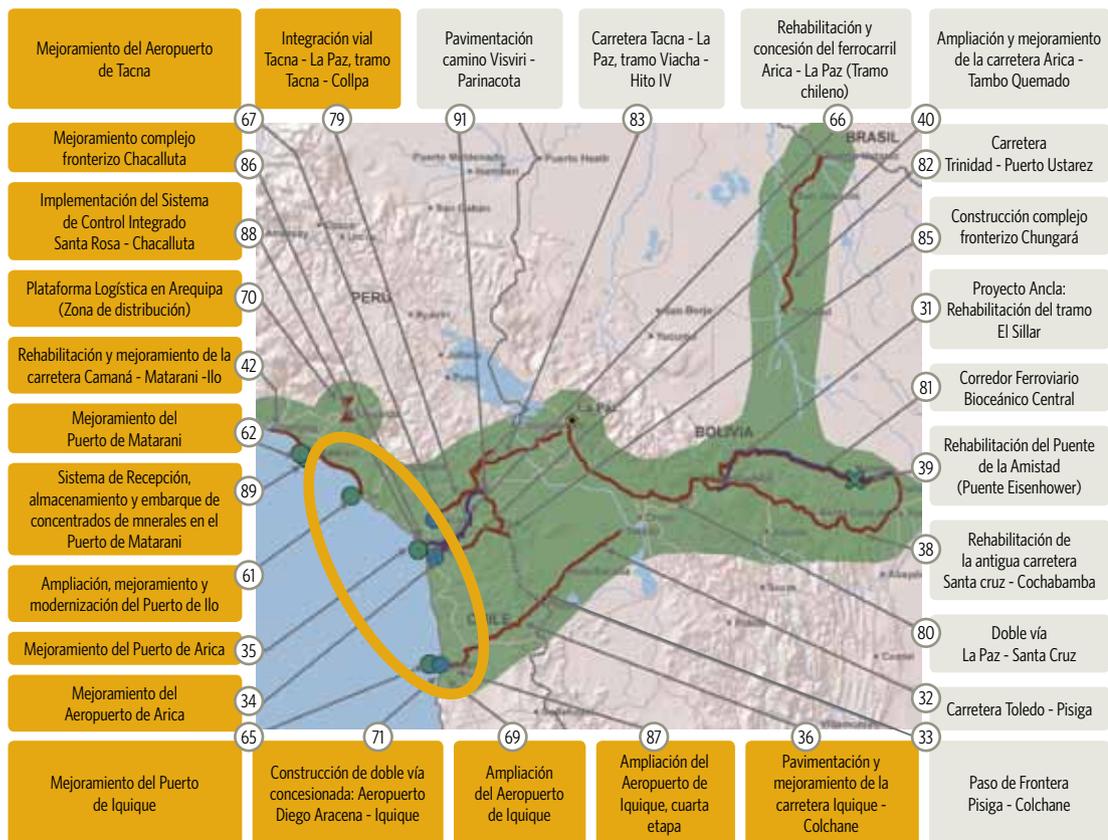


Figura 9. Proyectos de integración que forman parte del Grupo 5-Eje Interoceánico Central



Aeropuerto

- ▶ Mejoramiento del Aeropuerto de Tacna.
- ▶ Nueva ampliación del Aeropuerto de Iquique.
- ▶ Mejoramiento del Aeropuerto de Arica.
- ▶ Ampliación del Aeropuerto de Iquique.

Vialidad

- ▶ Integración vial Tacna- La Paz, tramo Tacna- Collpa.
- ▶ Ampliación y mejoramiento de la carretera Arica -Tambo Quemado.
- ▶ Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Camaná - Matarani - Ilo.
- ▶ Pavimentación y mejoramiento de la carretera Iquique- Colchane.
- ▶ Rehabilitación y concesión del ferrocarril Arica- La Paz (Tramo chileno).

Otra infraestructura

- ▶ Implementación de sistema de control integrado Santa Rosa-Chacalluta.
- ▶ Mejoramiento complejo fronterizo Chacalluta.

Priorización de la infraestructura a estudiar

El proceso de selección de la infraestructura de integración para ser parte de la aplicación piloto, se realizó en el marco de un taller realizado en Santiago de Chile el 19 de enero de 2015, con representantes del MTC-Perú y MOP-Chile (Grupo 1), donde se preseleccionaron 5 infraestructuras de integración para Chile y Perú, con sus respectivas justificaciones. Posteriormente dichas infraestructuras fueron ratificadas oficialmente por los representantes del MTC-Perú y MOP-Chile en el GTE/GRD de COSIPLAN-IIRSA (Grupo 1).

A continuación se detallan las infraestructuras de integración que fueron seleccionadas para ser consideradas en las actividades previstas para el Paso 2 y 3 de la Fase I de la metodología:

Tabla 14. Infraestructura de integración en territorio peruano seleccionada para aplicación piloto

Nombre Proyecto	Tipo infraestructura	Justificación
Puerto de Ilo	Puerto Marítimo	Intenso uso de Bolivia; Alternativa a Puerto de Arica.
Puerto de Matarani	Puerto Marítimo	Intenso uso de Bolivia; Alternativa a Puerto de Arica.
Aeropuerto de Tacna	Aeropuerto	Aeropuerto de frontera; Alimentación Tacna-Moquegua.
Carretera Panamericana Sur, Tramo Dv. Quilca - Dv. Arequipa - Dv. Moquegua - Tacna - Frontera con Chile	Carretera	Vía de alto tráfico y permite acceder a corredores transversales como la carretera Matarani - Arequipa - Juliaca - Iñapari; Ilo - Moquegua - Puno e Ilo - Desaguadero.
Carretera Camaná - Matarani - Ilo	Carretera	Unión de puertos; Alternativa de acceso; Ruta alternativa a Panamericana.

Tabla 15: Infraestructura de integración en territorio chileno seleccionada para aplicación piloto

Nombre Proyecto	Tipo infraestructura	Justificación
Puerto de Arica	Puerto Marítimo	Estrategia Comercial (importante Puerto de salida de Bolivia); Se encuentra en Zona Fronteriza más próxima a Perú; Zona Riesgo Sísmico.
Puerto de Iquique	Puerto Marítimo	Estrategia Comercial (importante Puerto de salida de la zona norte de Chile); Zona Riesgo Sísmico y Tsunami.
Aeropuerto de Iquique	Aeropuerto	Intercambio con otros países; Estrategia Comercial.
Aeropuerto de Arica	Aeropuerto	Cercano a Zona Fronteriza; Zona Riesgo Sísmico.
Carretera Arica-Tambo Quemado (11CH)	Carretera	Estrategia Comercial (Puerto de Arica importante puerto de salida de Bolivia); Se encuentra en Zona Fronteriza más próxima a Perú; Zona de Riesgo Sísmico.

Paso 2. Caracterización de la infraestructura y amenazas de Interés

En este paso se realizó una descripción y caracterización de cada una de las infraestructuras seleccionadas en el paso anterior, así como las amenazas/peligros a los que cada una de ellas se encuentra expuesta, con especial atención al peligro sísmico y tsunamis.

Información recolectada

Las descripciones tanto de la infraestructura y amenazas, fueron elaboradas exclusivamente sobre la base de información existente, de acceso público, complementada con otras proporcionada por las instituciones involucradas en la planificación, diseño, operación y supervisión de cada una de las infraestructuras seleccionadas.

La información utilizada para el desarrollo de este paso fue proporcionada por las instituciones de Chile y Perú, señaladas en la tabla 16 (ver página 46).

Además de la información entregada por las instituciones, se realizaron visitas de terreno a cada una de las infraestructuras seleccionadas. También se realizaron reuniones de trabajo con los operadores de las infraestructuras.

En la tabla 17, se entrega un resumen con la información recopilada para la caracterización de la infraestructura seleccionada y de amenazas, de Chile (ver página 47).

En la tabla 18 se entrega un resumen con la caracterización de amenazas y de la infraestructura del Puerto de Matarani, de Perú (ver página 47).

Tabla 16. Instituciones que proporcionaron información para la aplicación piloto

País	Institución	Identificación Grupos
Perú 	Dirección General de Transporte Acuático/MTC	Grupo 1
	Autoridad Portuaria Nacional	Grupo 1
	DGAC/MTC	Grupo 1
	CORPAC	Grupo 1
	Dirección General de Transporte Terrestre/MTC	Grupo 1
	PROVIAS Nacional	Grupo 1
	AAP, operador privado de Aeropuerto de Tacna	Grupo 2
	TISUR, operador privado Puerto de Matarani	Grupo 2
	COVINCA, operador privado Carretera Panamericana Sur	Grupo 2
	Instituto Geofísico del Perú (IGP)	Grupo 3
	Centro Nacional de Alerta de Tsunamis (CNAT)	
Chile 	Dirección de Obras Portuarias del MOP	Grupo 1
	Empresa Portuaria de Arica (EPA)	Grupo 2
	Empresa Portuaria de Iquique (EPI)	Grupo 2
	Concesionarios puertos de Arica y de Iquique	Grupo 2
	Dirección de Aeropuertos, a nivel central del MOP	Grupo 1
	Dirección de Aeropuertos Regional de Arica	Grupo 2
	Dirección de Aeropuertos Regional de Iquique	Grupo 2
	Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), a nivel central	Grupo 1
	Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), regional	Grupo 2
	Concesionarios de Aeropuertos de Arica y de Iquique	Grupo 2
	Dirección de Vialidad MOP, nivel central	Grupo 1
	Dirección de Vialidad MOP, nivel regional	Grupo 2
	Centro Sismológico Nacional y Académico del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile	Grupo 3
	Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica de la Pontificia Universidad Católica de Chile	Grupo 3
	Universidad Técnica Federico Santa María	Grupo 3
Dirección de Obras Portuarias del MOP	Grupo 1	

Tabla 17. Información de la caracterización de amenazas e infraestructura seleccionada de Chile

Infraestructura	Información amenazas	Información infraestructura
Aeropuerto de Arica	Historia sísmica norte	Memorias y planos proyecto edificio Terminal de pasajeros
	Microzonificación sísmica	Especificaciones técnicas y planos de pistas
	Cartas inundación tsunami SHOA	
Aeropuerto de Iquique	Ídem información Aeropuerto Arica	Memorias, Ing. básica y planos edificio Terminal de pasajeros; Planos de pistas; Memorias y planos Torre de Control.
Puerto de Arica	Ídem información Aeropuerto Arica	Especif. técnicas y planos muelle asísmico (Sitio 2)
	Informe riesgo sísmico Sitio 2	Inf. rev estructural y plan reparación Sitios 4 y 5
Puerto de Iquique	Ídem información Aeropuerto Arica	Estudio geotécnico molo y espigón; Levantamiento bat. Sitios 1, 2 y 3; Planos estructuras Sitio 4; Plano planta arquitectura edificio administrativo.
Ruta 11-CH	Ídem información Aeropuerto Arica	Planos diseño y construcción de los 3 puentes
	Inf. riesgo Red Vial MOP	Proyecto Tramo 3 (Km 36 - Km 60)
	Ubicación puntos críticos Ruta 11-CH	Proyecto Tramo 10 (Km 170 - Km 192)

Tabla 18. Información de la caracterización de amenazas e infraestructura puerto de Matarani de Perú

Componente	Caracterización de la amenaza	Condiciones de sitio	Planos disponibles
Almacén A-1	“Estudio de peligro sísmico para la Terminal Portuaria de Matarani (2013)”	Estudio geotécnico (Sistema de minerales)	Planos arquitectónicos
Almacén A-2	Sismicidad del área de estudio	Plano geológico	Planos arquitectónicos
Almacén A-3	Tectónica y sismotectónica	Estudio de vulnerabilidad de taludes de corte	Planos arquitectónicos
Almacén A-4	Estudio sísmico determinístico	Estudio de suelos Tanques de alcohol	Planos arquitectónicos
Almacén B-1	Estudio sísmico probabilístico	Plano de batimetría Puerto Matarani (Nov.2012)	Planos arquitectónicos
Almacén B-2	Curva de amenaza		Planos arquitectónicos
Almacén D-1	Acelerogramas sintéticos		Planos arquitectónicos
Almacén D-2			Planos arquitectónicos
Central de mantenimiento	Carta de inundación en caso de tsunami “Puerto de Matarani-Arequipa”		Planos arquitectónicos
Comedor estibadores			Planos arquitectónicos
Edificio administrativo			Planos arquitectónicos
Bienestar de personal y empresarial Puerta 3			---
Tanques de almacenamiento de alcohol			---
Tanques de combustible			
Muelle			Planos ubicación Planos de detalles

En la tabla 19 se entrega un resumen con los documentos y contenido relevante para la caracterización básica de amenaza sísmica del aeropuerto de Tacna, de Perú:

Tabla 19. Documentos y contenido relevante para la caracterización básica de amenaza sísmica en el Aeropuerto de Tacna - Perú

Jorge Alva Hurtado, CISMID (1988) "Riesgo Sísmico de Tacna – Informe presentado a CONCYTEC"

- ▶ Evaluación de fuentes sísmicas
 - ▶ Leyes de atenuación
 - ▶ Relación de sismos históricos en Tacna (1471- 1959)
 - ▶ Mapas de isosistas disponibles
-

Conrado Bedoya "Sismicidad de Tacna 2006"

- ▶ Descripción resumida de la actividad sísmica mensual del año 2006
-

Dr. Ing. Jorge Alva Hurtado "Avances en la Microzonificación sísmica de la ciudad de Tacna"

- ▶ Mapas de isosistas disponibles (1604- 2001)
 - ▶ Imágenes daños en infraestructura ciudad de Tacna (sismo 2001)
 - ▶ Mapa de distribuciones máximas de intensidades sísmicas a nivel nacional
 - ▶ Ubicación de red de acelerógrafos
 - ▶ Registro instrumental de aceleraciones máximas red CISMID en Tacna
 - ▶ Zonificación geotécnica de Tacna (1994 Según D. Contreras y Y. Siña)
 - ▶ Ubicación de sismoscopios en ciudad de Tacna
-

INDECI (2007) "Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de Tacna"

- ▶ Contexto regional y urbano
 - ▶ Aspectos físicos y geográficos (clima, morfología, hidrografía, entre otros)
 - ▶ Evaluación de peligros, vulnerabilidades y riesgo
 - ▶ Caracterización físico geográfica
 - ▶ Sismicidad histórica (1868-2001)
 - ▶ Descripción de impacto de sismo 23 junio en ciudad de Tacna
 - ▶ Mapas varios de ciudad de Tacna (uso de suelo, peligros climáticos, peligros geológicos, peligros antrópicos³ peligros múltiples, entre otros)
 - ▶ Recomendaciones para ordenamiento y desarrollo urbano
-

INDECI (2004) "Mapa de peligros de la ciudad de Tacna-Volumen I y II"

- ▶ Zonificación de suelos (superficial y 2 mts)
 - ▶ Amplificación sísmica
 - ▶ Hidrología-hidráulica (Banco de Datos, Análisis de máximas descargas, Análisis de frecuencias, Simulación Hidráulica)
 - ▶ Geotecnia
-

Información disponible sobre condiciones de sitio del aeropuerto de Tacna

- ▶ Curvas de nivel a 50 cm de toda la zona de emplazamiento
 - ▶ Perfiles de suelo hasta 2 m profundidad (pista y zona de rodaje)
 - ▶ Resultados de ensayos control calidad de asfalto y base granular de pista y rodaje
 - ▶ Estudio de capacidad portante para cimentación (calicatas y laboratorio)
-

En la tabla 20 se entrega un resumen del listado de documentos y contenido relevante para la caracterización básica de amenaza sísmica y tsunami en el Puerto de Matarani, de Perú:

3. Se incluye cono de vuelo de acceso al aeropuerto como uno de los peligros antrópicos

Tabla 20. Documentos y contenido relevante para la caracterización básica de amenaza sísmica y tsunami en el Puerto de Matarani - Perú

TISUR (2013) "Estudio de Peligro Sísmico para La Terminal Portuaria de Matarani (2013)"⁴

- ▶ Sísmicidad del área de estudio
- ▶ Tectónica y sismotectónica
- ▶ Estudio sísmico determinístico
- ▶ Estudio sísmico probabilístico
- ▶ Acelerogramas sintéticos

Estudio de Impacto Ambiental Proyecto "Remodelación y ampliación del sistema de almacenamiento y embarque de mineral concentrado en la terminal marítima de Matarani"

Dirección de Hidrografía y Navegación

- ▶ Carta de inundación en caso de tsunami "Puerto de Matarani-Arequipa" (Escala 1:5.000), curvas de nivel a cada metro.

Caracterización general infraestructura y amenazas

A continuación se presenta una descripción general de cada una de las infraestructuras seleccionadas de Chile y Perú, que serán sujetas al análisis de riesgo de la Fase II de la metodología. La descripción del resto de la infraestructura seleccionada en la Fase I de la metodología se presenta en el Anexo 3 del presente documento:

Descripción General Infraestructura Aeroportuaria



AEROPUERTO DE ARICA

Descripción de infraestructura y su emplazamiento

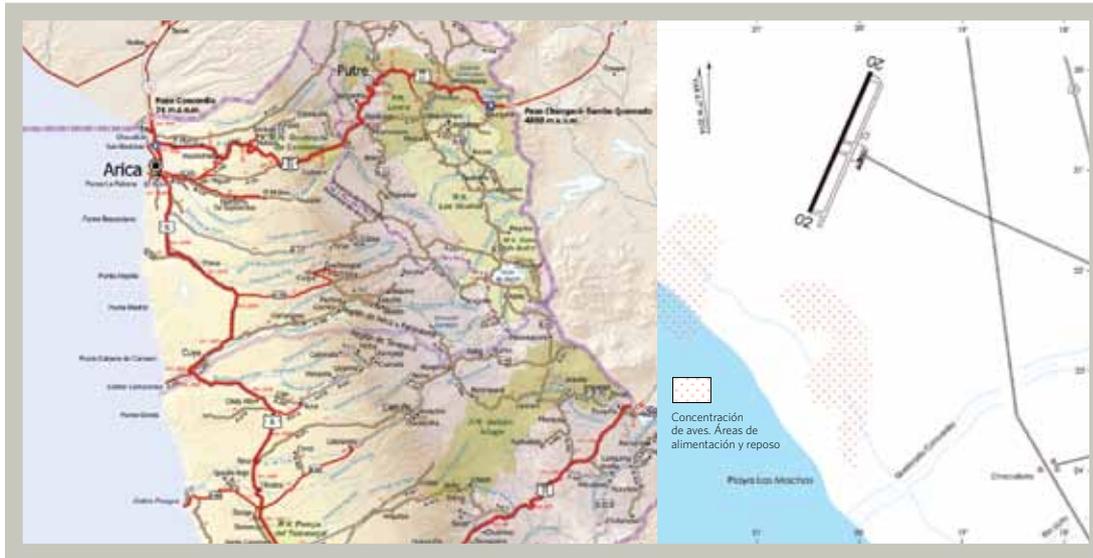
El Aeropuerto de Arica, de carácter público también denominado Aeropuerto Internacional Chacalluta, se ubica a 18,5 km al noroeste de la capital regional Arica en la XV Región de Arica y Parinacota, de Chile. Tiene acceso a través de la Ruta Panamericana, se encuentra a 3,3 km aproximadamente de la línea de costa y a 3,1 km del límite internacional con Perú, y su elevación es de 51 m.s.n.m.

La terminal aérea realiza vuelos a destinos internacionales como La Paz en Bolivia y el Aeropuerto de Arequipa en Perú, en cuanto a los destinos nacionales son el Aeropuerto Internacional Diego Aracena en Iquique y el Aeropuerto Internacional Comodoro Arturo Merino Benítez en Santiago. En la actualidad el aeropuerto es cubierto por las aerolíneas LAN y Sky Airline.

Las instalaciones de uso público del aeropuerto se encuentran concesionadas al holding español AZVI, bajo su división de concesiones internacionales, Cointer Chile S.A. El contrato de concesión tiene una duración de 15 años y se adjudicó según Decreto Supremo del Ministerio de Obras Públicas de Chile N° 89 el 06 de febrero de 2004. Las instalaciones poseen estacionamientos públicos para vehículos con 370 posiciones, planta de tratamiento de aguas servidas, restaurante, cafetería, equipamiento electromecánico y aeroportuario. La terminal aeroportuaria cuenta con una pista asfaltada de 2.170 m de largo por 45 m de ancho y una pendiente de 0,6%.

4. Elaborado por Jorge Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L

Figura 10. Ubicación general del Aeropuerto Arica



Fuente: Web Dirección Vialidad -MOP y DGAC

Identificación y descripción de componentes del Aeropuerto Chacalluta de Arica

Algunas de las principales edificaciones que componen la terminal aeroportuaria de Chacalluta, sobre la base de la información detallada en los estudios del proyecto Concesión Aeropuerto de Chacalluta de 2006 son los siguientes:

- ▲ **Terminal de pasajeros:** es un edificio de dos niveles de altura, los cuales se desarrollan dentro de una semibóveda abierta hacia la plataforma de aviones y pista de aterrizaje. La superficie que constituye el edificio terminal es de 5.180,96 m² distribuidos en dos niveles que permiten un flujo diferenciado de los pasajeros que llegan y los que salen, y también una eventual división entre los vuelos nacionales e internacionales.
- ▲ **Plataformas, calles de rodaje y pista:** el aeropuerto posee una pista con orientación norte-sur de 2.170 m de largo y 45 m de ancho y una pendiente longitudinal que no supera el 0,6%, también posee dos cabezales en sus extremos en buen estado y las aproximaciones despejadas en ambos sentidos. Posee una pista de rodaje del mismo largo que la pista con un ancho de 30 m y cuatro calles de acceso a la pista, dos en los extremos y dos frente a la plataforma de estacionamiento. La plataforma de estacionamiento principal es de 100 m de fondo y 200 m de longitud (20.000 m²), también existe una plataforma contigua hacia el norte para aviones livianos.

Identificación de Amenazas Naturales

El Aeropuerto de Arica se ubica en la Zona del GAP sísmico del norte de Chile, según los antecedentes sísmicos.

De acuerdo a los antecedentes disponibles el punto más bajo del aeropuerto corresponde al extremo sur de la pista de aterrizaje con una cota de 38 m sobre el nivel medio del mar, y el extremo norte con una cota de 51 m sobre el nivel medio del mar. Si se considera la cota de inundación por tsunami de

Figura 11. Vista exterior del Aeropuerto de Arica, Chile



acuerdo a las cartas del SHOA, de aproximadamente 30 m sobre el nivel medio del mar, el aeropuerto de Arica está fuera de la zona de peligro de inundación por tsunamis.



AEROPUERTO DE TAGNA

Descripción general de infraestructura y su emplazamiento

Según información de la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC), el "Aeropuerto Internacional Coronel FAP Carlos Ciriani Santa Rosa" se ubica en la Región, Provincia y Distrito de Tacna, en el extremo sur de Perú, a 5 km al sur de la ciudad de Tacna. Sus coordenadas geográficas son: 18°03'11.84"S-070°16'32.96"W. El aeropuerto inició sus operaciones el 28 de agosto de 1956.

La terminal de pasajeros y toda la parte no aeronáutica se encuentra concesionada a Aeropuertos Andinos del Perú S.A.⁵, la parte aeronáutica está a cargo de CORPAC S.A. y cuenta con una Torre de Control de cinco pisos con 18 m de altura.

Identificación y descripción de componentes del Aeropuerto de Tacna

En base a información proporcionada por CORPAC el Aeropuerto Internacional Coronel FAP Carlos Ciriani de Tacna cuenta con una pista de pavimento asfáltico de 2.500 m por 45 m, zonas de parada y calle de rodaje. La zona de estacionamiento de aeronaves es de losa de concreto, la cual permite cuatro puestos de estacionamiento.

Las principales edificaciones con que cuenta el aeropuerto son las que se describen brevemente a continuación⁶:

5. Más información disponible en <http://www.aap.com.pe/>

6. Plan Maestro de Desarrollo del Aeropuerto Internacional "Crnl. FAP. Carlos Ciriani Santa Rosa" de la ciudad de Tacna

- ▲ **Terminal de Pasajeros:** Edificación de 2 pisos, compuesta por diferentes cuerpos y con una superficie total de 2.368 m².
- ▲ **Torre de Control:** Se ubica al costado de la terminal de pasajeros. Es una estructura de 5 pisos, de 18 m de altura y 191 m², una antigüedad aproximada de 17 años y un buen estado de conservación. Sus características constructivas incluyen columnas, vigas, losas sólidas y losas aligeradas de concreto armado, albañilería de ladrillo de arcilla cocida asentada con mortero cemento-arena, pisos de loseta corriente.
- ▲ **Cuartel del SEI:** Construcción de un piso de reciente construcción (cerca de 3 años) en muy buenas condiciones, con un área construida de aproximadamente 350m² para uso de estacionamiento, oficinas, bodegas, entre otros. La estructura de la zona de estacionamiento es a base de columnas y vigas metálicas, techo de calamina, piso de cemento pulido, cubierta con calamina, puertas metálicas, instalaciones eléctricas expuestas. En cambio la oficina está estructurada a base de columnas y vigas de concreto, muros de albañilería, piso de cemento pulido.

Figura 12. Vista planta Aeropuerto de Tacna



Figura 13. Vista exterior de terminal de pasajeros y torre de control, Aeropuerto de Tacna, Perú



Figura 14. Vista general del cuartel SEI - Aeropuerto Tacna, Perú



Identificación de amenazas naturales

El aeropuerto de Tacna, por ubicarse sobre los 500 msnm y aproximadamente a 50 km de la costa, está fuera del área de peligro de tsunamis; sin embargo puede verse afectado en caso de sismos por lo cual diferentes estudios de peligros y riesgo naturales en la ciudad de Tacna han considerado a los sismos como una de las principales amenazas a las que está expuesta la ciudad.

Descripción general infraestructura portuaria



PUERTO DE ARICA

Descripción general de infraestructura y su emplazamiento

El puerto de Arica se encuentra ubicado en la región de Arica y Parinacota, provincia, comuna y ciudad de Arica, Chile; limita al norte con Perú, al este con la provincia de Parinacota, al sur con la región de Tarapacá y al oeste con el Océano Pacífico.

Figura 15. Plano de ubicación general del Puerto de Arica



El puerto de Arica corresponde a una estructura artificial, construida entre los años 1960 y 1966, y consiste en dos Molos de abrigo con penetración al mar y una poza central. El Molo de abrigo principal está formado por una obra tipo rompeolas de una longitud aproximada de 1.235 m, hecha en base

a un sistema de enrocados y dos capas de tetrápodos. Por el costado interior se encuentra construido en base a una estructura de muro gravitacional y tablestacas metálicas, conteniendo en su desarrollo interior a los sitios 1, 2, 3, 4 y 5. El molo de abrigo ubicado en el norte, que contiene el sitio 7, se ubica en forma paralela a los sitios 1, 2 y 3 del molo de abrigo principal. Tiene una longitud aproximada de 450 m con un sitio de atraque de 200 m y presta servicios a Perú.

Descripción de los componentes de infraestructura portuaria

▲ Muellesismorresistente(Sitio2):

El proyecto consiste en un muelle asísmico correspondiente al actual Sitio 2 del Puerto de Arica, diseñado a una profundidad de -12.5m NRS.

Para acceder al cabezo del muelle se proyectó un puente de acceso conformado por una superestructura de hormigón armado apoyada sobre pilotes de acero. El cabezo tiene una longitud de 220 m y un ancho de 38 m. La superestructura está compuesta de una losa de hormigón armado de 40 cm de espesor que es soportada por vigas de hormigón armado de 80/180 cm. La superestructura se apoya sobre un total de 140 pilotes de acero.

Los elementos encargados de resistir las solicitaciones sísmicas de la estructura (vigas y pilotes) se diseñaron de acuerdo con el capítulo 21 de la ACI (American Concrete Institute).

▲ **Sitio 3:** El muro del Sitio 3 está compuesto por gaviones metálicos de tablestacas planas de un diámetro de 16,3 m separados 17,4 m entre sí, con arcos de tablestacas planas entre sí (intergaviones). Los gaviones tienen una cota superior de +4,4 m NRS, y una cota inferior variable.

▲ **Sitios 4 y 5:** La estructura principal de los sitios 4 y 5 del puerto, está formada por gaviones de forma circular e intergaviones, hechos con tablestacas, de 12 mm de espesor, rellenas de material granular, alineados a la línea de atraque. Los gaviones tienen un diámetro de 16,3 m y los intergaviones un radio de 4,585 m. Sobre los gaviones se dispone de un relleno y un muro de contención de hormigón armado en forma de L, que sirve como viga de coronamiento, y se ubica en el borde interior del puerto. Esta viga se encuentra además, apoyada sobre pilotes de rieles de ferrocarril que se proyectan hasta la base el gavión. En los sitios 3, 4 y 5 sobre el relleno existe un pavimento de 30 cm de espesor y 50 m de ancho, que fueron construidos en el año 2002, producto de la reparación de daños ocurridos en el sismo del 2001 en el mismo sector.

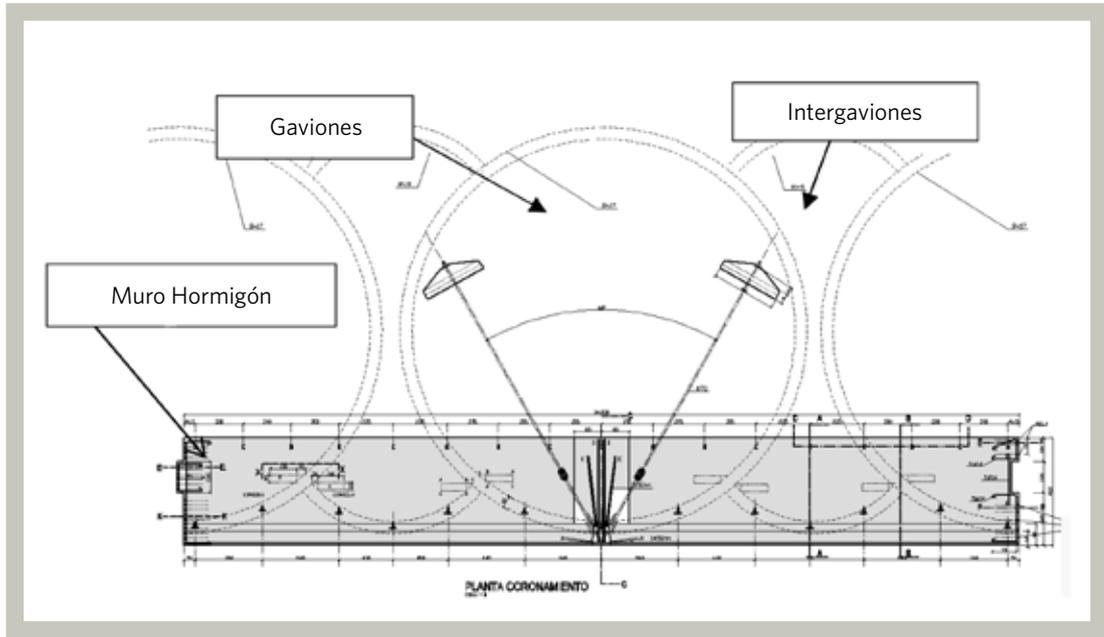
▲ **Descripción del edificio administrativo:** El edificio de oficinas administrativas corresponde a un edificio de hormigón armado y mampostería de dos pisos y un subterráneo.

Figura 16. Vista general del Puerto de Arica



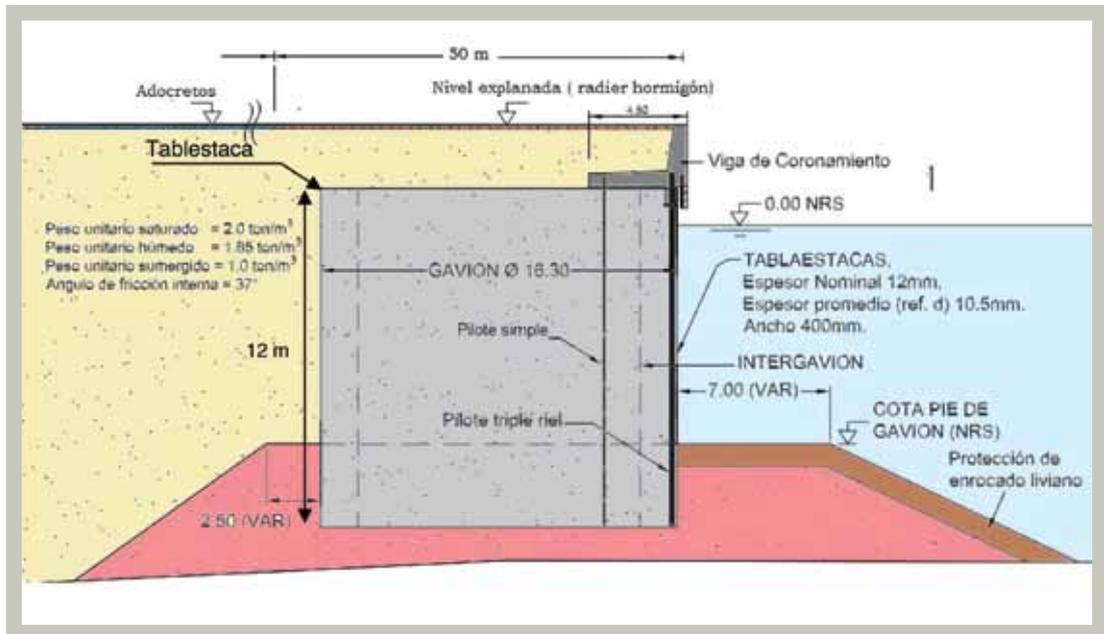
Fuente: Informe Revisión Estructural Sitios N°4 y N°5, post Sismo Abril 2014.

Figura 17. Estructuración gaviones e intergaviones Sitios 3, 4 y 5



Fuente: Informe Revisión Estructural Sitios N°4 y N°5, post Sismo Abril 2014.

Figura 18. Sección transversal típica estructura de soporte Sitios 4 y 5



Fuente: Informe Revisión Estructural Sitios N°4 y N°5, post Sismo Abril 2014.

Identificación de amenazas naturales

El Puerto de Arica se ubica en la zona del GAP sísmico del norte de Chile, según los antecedentes sísmicos y, según las Cartas de Inundación por Tsunami del SHOA, el puerto se ve afectado.



Descripción general de infraestructura y su emplazamiento

El Puerto de Matarani se ubica en la bahía del mismo nombre, en el distrito de Islay, provincia de Islay, departamento de Arequipa, de Perú, en las coordenadas 16° 59' 42.5" S - 72° 06' 13.2" W, a más de 1.000 km al sur de la ciudad de Lima y a 120 km aproximadamente de la ciudad de Arequipa.

Si bien la inauguración oficial del puerto data del 4 de octubre de 1947, entre los años 1941-1947, estuvo bajo el control de la Marina de Guerra de Perú. El 18 de agosto de 1999, el Estado Peruano a través del Ministerio de Transportes, adjudica por treinta años la Terminal Portuaria de Matarani, mediante el contrato de concesión para su construcción, conservación y explotación a la empresa Terminal Internacional del Sur S.A. TISUR.

La zona de influencia del puerto forma parte de la cadena logística en el corredor Atlántico - Pacífico del servicio de transporte de carga desde y hacia el interior del Perú (Arequipa, Puno y Cuzco), así como a Bolivia y Brasil.

Las instalaciones portuarias se emplazan entre las cotas 0 y 51 m.s.n.m, contando con una rada interior formado por dos rompeolas de 650 y 145 m y un muelle marginal de 583 m de longitud con un calado de 32 pies, pudiendo atender simultáneamente hasta 3 naves.

El principal movimiento del puerto es de carga sólida a granel (cereales y minerales) que representan más del 70% de las toneladas. Asimismo el puerto cuenta con facilidades para el manejo de contenedores y otro tipo de carga, con infraestructura tal como silos para granos, almacenes techados, sistemas de cintas transportadoras y estanques para carga líquida a granel (alcohol, aceite, combustibles, entre otros).

Figura 19. Ubicación Puerto Matarani



Figura 20. Vista general del Puerto de Matarani



Identificación y descripción de componentes del Puerto de Matarani

A continuación se presentan y describen algunos de los principales componentes del Puerto de Matarani:

- ▶ **Abrigo o defensa:** Se cuenta con dos rompeolas de protección que forman la rada interior y son los siguientes:
 - Rompeolas Norte; con una longitud de 145 m.
 - Rompeolas Sur; con una longitud de 650 m.
- ▶ **Muelle marginal:** con una longitud de 583 m y defensas.
- ▶ **Rada interior o Poza de maniobras:** La rada interior de la Terminal está conformada por el Rompeolas Norte, Rompeolas Sur, Muelle marginal y la Bocana de acceso de 145 m. La profundidad máxima es de 43 pies de calado y la mínima es de 32 pies de calado.
- ▶ **Muelles:** La Terminal cuenta con un muelle marginal de 583 m de largo por 22 m de ancho, con un área total de 12.826 m².
- ▶ **Sistema de minerales:** almacenes totalmente cerrados para almacenar una capacidad de 125 Tm estáticas y un sistema de cintas transportadoras de 680 m de longitud que traslada el concentrado de mineral hacia las naves con una capacidad de 1.500 tm/hr.
- ▶ **Sistema de cereales:** sistema de dos torres neumáticas absorbentes, 59 silos con capacidad estática de 75.000 tm y una cinta transportadora subterránea.
- ▶ **Almacenamiento:**
 - Minerales (almacén techado): 120.000 tm
 - Áreas de almacén techado: 22.332,57 m²
 - Áreas de almacén no techado: 157.754,15 m²
- ▶ **Silos:** tres baterías de silos con capacidad total de 75.000 tm, donde se recibe, almacena y despacha granos.
- ▶ **Tanques de almacenamiento de alcohol:** cinco tanques para almacenamiento de alcohol etílico, con capacidad de 1.100 m³.
- ▶ **Tanques de almacenamiento de combustibles:** dos tanques para almacenamiento de combustible diesel 85.

Figura 21. Almacén sistema minerales



Identificación de amenazas naturales

De la información recopilada respecto al Puerto de Matarani, las principales amenazas naturales a las cuales está expuesto el puerto son los sismos y tsunamis.

Paso 3. Definición de objetivos e indicadores de desempeño

Para la definición de los indicadores de desempeño asociados a cada objetivo de desempeño, se realizaron reuniones con representantes de cada una de las infraestructuras seleccionadas (Grupos 1 y 2), para un mejor entendimiento de su alcance. Complementariamente se les entregó una propuesta de indicadores para que fueran cuantificados.

Paralelamente, se revisaron las normas nacionales relacionadas con la planificación, diseño, construcción y funcionamiento de las infraestructuras de interés, y su vinculación con los cinco aspectos de objetivos de desempeño, establecidos en la metodología, los cuales se indican a continuación:

- ▶ Proteger la seguridad del personal y usuarios (Proteger la vida);
- ▶ Proteger la seguridad de las comunidades y sus bienes (Proteger vida, bienestar y patrimonio);
- ▶ Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema (Proteger funcionamiento);
- ▶ Reducir las pérdidas económicas y (Proteger inversión y negocio);
- ▶ Evitar el daño al medioambiente (Proteger medioambiente).

Para el caso de los aeropuertos de Arica los indicadores de desempeño fueron definidos por un representante del Departamento de Planificación de la DGAC a nivel central (Grupo 1); para el puerto de Arica, los representantes de la Empresa Portuaria de Arica (Grupo 2).

En las siguientes tablas se entrega un resumen de los indicadores predefinidos. En algunos casos se han podido definir y en otros casos sólo abordaron la discusión en general, sin definir indicadores, para las infraestructuras seleccionadas de Chile y de Perú.

Tabla 21. Indicadores de desempeño infraestructura portuaria seleccionada de Chile y de Perú

Objetivos de Desempeño	Puerto de Arica 	Puerto de Matanari 
Proteger la seguridad del personal y usuarios.	10 personas fallecidas 20 personas lesionadas	0 personas heridas
Proteger la seguridad y bienestar de la comunidad y sus bienes.	N/A	N/A
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema.	64% cap. máx. Puerto 80% toneladas máx.	---
Reducir las pérdidas económicas.	---	---
Evitar el daño medioambiental	0 superficie afectada	---

Tabla 22. Indicadores de desempeño infraestructura aeroportuaria seleccionada de Chile y de Perú

Objetivos de Desempeño	Aeropuerto de Arica 	Aeropuerto de Tacna 
Proteger la seguridad del personal y usuarios.	0 personas fallecidas 1% personas lesionadas	0 personas heridas
Proteger la seguridad y bienestar de la comunidad y sus bienes.	0 personas afectadas	N/A
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema.	100% operación lado aire 100% operación lado tierra	5 aviones/día
Reducir las pérdidas económicas.	UF471.612 lado tierra (seguro)	---
Evitar el daño medioambiental	0 derrame sustancias peligrosas	N/A

En relación a la revisión de la normativa, en el marco de la aplicación piloto, se consultaron una serie de normativas de Chile y Perú vinculadas con el diseño de aeropuertos, puertos marítimos y carreteras, así como otros documentos vinculados con su funcionamiento.

A continuación se presentan algunos hallazgos, en base a los documentos y marcos normativos a los cuales se tuvo acceso durante la aplicación piloto, que evidencian las similitudes y diferencias existentes entre ambos países:

Responsabilidades sectoriales para la Gestión de Riesgo de Desastres

Este punto se refiere al marco jurídico del sistema o estructura nacional, que provee las atribuciones y competencias relativas a los procesos de Gestión de Riesgo de Desastres (GRD), así como los roles y responsabilidades necesarias para articular sus partes o elementos, incluyendo a los distintos sectores y niveles territoriales de gobierno.

Tabla 23. Normativa procesos de GRD de Chile y de Perú

CHILE 	PERÚ 
<p>Decreto Ley 156 de 2002 que aprueba el Plan Nacional de Protección Civil</p> <p>El Sistema Nacional de Protección Civil de Chile, se basa en el Decreto Ley N° 369 de 1974, que crea la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI) y el Decreto Ley 156-2002 aprueba el Plan Nacional de Protección Civil, en el cual se establecen diferentes procesos de la gestión del riesgo. Sin embargo, este último decreto no tiene carácter vinculante para los sectores, por lo cual el mismo no define las responsabilidades institucionales. El marco normativo chileno para la GRD aún tiene un énfasis en los ámbitos de los preparativos y la respuesta, por lo cual se puede afirmar que el país aún no dispone de una normativa integral en materia de Gestión de Riesgo de Desastres.</p> <p>El Plan Nacional de Protección Civil, de carácter indicativo, establece: "III. ... objetivos específicos: ... 3. Delimitar las responsabilidades tanto políticas, legales, científicas, técnicas, como operativas, del Sistema Nacional de Protección Civil, en cada una de las etapas del ciclo del manejo de riesgos." Asimismo, en su Artículo Segundo refiere: "Los Ministerios y los servicios, instituciones y organismos dependientes o relacionados con el Estado y las empresas estatales, conformarán su acción a las directrices indicativas que se imparten en el plan aprobado y darán estricto cumplimiento a las tareas que a ellos se les asignan, de acuerdo con sus respectivas atribuciones y competencias."</p>	<p>La Ley N° 29664 de 2011, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)</p> <p>Esta Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres establece, en el artículo 2, que la GRD es de aplicación y cumplimiento obligatorio para "todas las entidades y empresas públicas de todos los niveles de gobierno"; asimismo, en el artículo 6 se definen los diferentes "procesos de la Gestión de Riesgo de Desastres", donde se detallan los distintos procesos de una visión integral de la GRD. Además en el Título III, Capítulo VII, subcapítulo I. Artículo 16, numeral 16.1 se establece que los ministros son las máximas autoridades responsables de la implementación de los procesos de la Gestión de Riesgo de Desastres dentro de sus respectivos ámbitos de competencia. La misma Ley establece que la "reducción del riesgo" es un conjunto de orientaciones dirigidas a impedir o reducir los riesgos de desastres.</p>

De manera complementaria a lo anterior, a continuación se puede observar que existen algunas normativas propias del sector transporte que dispone de competencias del MOP-Chile y MTC-Perú en algunos de los ámbitos de la GRD (Identificación del Riesgo - IR, Reducción del Riesgo - RR, Preparativos para la Respuesta - PR, Recuperación con Resiliencia - RC y Protección Financiera - PF), reconociendo así que los procesos de la gestión del riesgo deben ser responsabilidad de cada ministerio o sector en el ámbito de sus competencias.

Tabla 24. Normativa competencias MOP Chile y MTC Perú en GRD

<p style="text-align: center;">CHILE</p> 	<p style="text-align: center;">PERÚ</p> 
<p>IR: No se localizó evidencia en el marco normativo del MOP-Chile que defina la responsabilidad de realizar análisis de riesgo de desastres en el ámbito de sus competencias</p>	<p>IR: En la parte de fundamentos de la Directiva N° 010-2004-MTC/14 “Guía para Inspección de Puentes”; y la Directiva N° 005-2005-MTC/14 “Funciones de la Supervisión de Obras de Infraestructura Vial”, se menciona que “las infraestructuras se ven afectadas, entre otros aspectos, por sobrecargas, influencia del ambiente, fenómenos naturales como terremotos e inundaciones, lo que origina su deterioro”.</p>
<p>RR: No se encontró evidencia en el marco normativo del MOP-Chile que defina la responsabilidad de reducir el riesgo de desastres en el marco de sus competencias.</p>	<p>RR: El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en relación con el proceso de reducción del riesgo en el ámbito de sus competencias dispone de las siguientes normativas: (i) Directiva N° 010-2004-MTC/14 “Guía para Inspección de Puentes” y (ii) Directiva N° 005-2005-MTC/14 “Funciones de la Supervisión de Obras de Infraestructura Vial”. Sin embargo, no obstante a estas normas específicas, no existe una norma del sector que asigne de manera expresa responsabilidades para la reducción del riesgo.</p>
<p>PR: El Decreto N° 156 del año 2002, que aprueba el Plan Nacional de Protección Civil y el Plan nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, que es la normativa nacional que regula los procesos de preparativos y respuesta, no hace mención a la responsabilidad que le compete al MOP-Chile y otros ministerios sobre la elaboración de planes propios de preparativos y respuesta a emergencias y desastres. Sin embargo, la Resolución N° 4391 del Ministerio de Obras Públicas del 2010 que regula la Organización Interna Funcional de la Dirección General de Obras Públicas, establece: “2° La Subdirección General de Obras Públicas está conformada por ... el Departamento de Prevención de Riesgos de Obras Públicas, la Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente y Participación Ciudadana, la Oficina de Atención de Emergencias de Obras Públicas ... Sus objetivos y funciones generales son: ... e) Proponer, implementar y controlar el Plan Ministerial de Acción ante Emergencias derivadas de catástrofes naturales u otras causas que provoquen grave daño a las personas y las obras públicas. Este Plan deberá asegurar la respuesta adecuada y oportuna ante las emergencias y la debida coordinación entre la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y el Ministerio de Obras Públicas y sus Servicios dependientes...”.</p>	<p>PR: El Reglamento de la Ley del SINAGERD, aprobado mediante Decreto Supremo N° 048-2011-PCM de 2011, establece en su Art 39 la obligatoriedad de las entidades públicas de formular planes de operaciones de emergencia y planes de contingencia. Es así como el MTC, cuenta con el Plan Sectorial de Operaciones de Emergencia del 12 de diciembre del 2008, aprobado mediante la Resolución Ministerial N° 900-2008-MTC donde entre otras cosas se define las actividades y responsabilidades del sector en materia de preparación para desastres.</p>

La gestión del riesgo en el marco del ciclo del proyecto y sistema de inversión pública

Los proyectos de inversión pública, son intervenciones específicas en el tiempo y territorio que buscan entre otras cosas crear, ampliar, mejorar o recuperar la capacidad productiva o de provisión de bienes o servicios de una entidad sectorial o territorial.

La elaboración e implementación de los proyectos de inversión pública, se realizan siguiendo el ciclo del proyecto, cuyas fases pueden diferir de país en país, pero se reconoce la importancia de contar

con estudios que sustenten que son socialmente rentables, sostenibles y coincidentes con los lineamientos de política establecidos por las autoridades correspondientes, por lo cual deberían observar la GRD como parte de su sostenibilidad.

Tabla 25. Normativa para incorporación de GRD en estudios y obras

CHILE 	PERÚ 
<p>El Decreto Supremo, Ministerio Obras Públicas (MOP) N° 75 de 2004 - Reglamento para Contratos de Obras Públicas, establece el Art 2 - "Para contratar cualquier obra deberá existir previamente autorización de fondos y deberá disponerse de bases administrativas, bases de prevención de riesgo y medioambientales, especificaciones técnicas, planos y presupuesto, con el visto bueno de la misma autoridad que adjudicará el contrato. Todos los documentos señalados forman parte del respectivo contrato, debiéndose fijar en las bases administrativas el orden de precedencia para su aplicación..."</p>	<p>El Ministerio de Economía de Finanzas (MEF), a través de la Resolución Directoral N° 003-2011-EF/68.01, del 2011, del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), que incluye el análisis de riesgos de desastres para la formulación de expedientes técnicos de inversión.</p> <p>Por otra parte el Ministerio de Economía de Finanzas (MEF) cuenta con las "Pautas para el Seguimiento de la Inversión Pública" de 2011, donde se establece un sistema operativo para el seguimiento de los proyectos en cuanto a los avances en la ejecución. Asimismo, el país cuenta con las "Pautas Generales para la Evaluación Ex Post de Proyectos de Inversión Pública", publicadas de Marzo de 2012, en cuyo capítulo 5.4.7 Evaluación de la Sostenibilidad, en el numeral d) Gestión de Riesgos, señala que: "Se evaluará si los riesgos importantes han sido identificados en la pre-inversión, se incluyeron las medidas para reducirlos y éstas han sido aplicadas. Se identificarán los riesgos que pudiesen haber surgido en las fases de inversión y post inversión y la manera en que éstos han sido enfrentados. Se evaluará la capacidad del operador del servicio o los beneficiarios para asimilar y recuperarse de un desastre o conflicto social, entre otros". Debe precisarse que estas pautas son de obligatorio cumplimiento.</p>

Normatividad para el diseño sísmico

Las normativas de diseño sísmico son construidas en base al peligro sísmico de cada país, reconociendo los tipos de materiales utilizados, configuraciones de estructuras y condiciones de sitio propios de cada país. Sin embargo el estado del arte en el desarrollo de este tipo de normatividad, ha permitido que los principios de diseño y objetivos de desempeño sean comunes, al menos para aquellas edificaciones cuyo uso principal es la ocupación humana (habitacional, vivienda u oficinas).

Si bien la elaboración, uso y control de este tipo de normativas trasciende del quehacer de los MOP-Chile y MTC-Perú, este tipo de ministerios son usuarios y promotores de ellas en aquellas infraestructuras sujetas a su consideración.

La cantidad y variedad de normativas de diseño sismorresistente en cada país dependerá del estado del arte y dinamismo que tengan la academia, asociaciones y gremios vinculados con la arquitectura, ingeniería y construcción, así como los efectos y aprendizajes en eventos sísmicos recientes.

Previo al análisis de estas normativas en Chile y Perú, en la siguiente tabla se presentan algunas de las existentes en cada país, a las cuales se tuvo acceso.

Tabla 26. Normativa de diseño sismorresistente de Chile y Perú

CHILE 	PERÚ 
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Norma NCh 433 of 1996 Revisión 2009 Diseño sísmico de edificios ▶ Norma NCh 2745:2013 Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica ▶ Norma NCh 2369Of.2003: Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales ▶ Norma NCh 3357:2015 Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales ▶ Norma NCh 3362:2014 Requisitos mínimos de diseño, instalación y operación para ascensores electromecánicos frente a sismos 	<p>Norma Técnica E.030 (Actualizada 2016) "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones</p>

Cabe destacar que la Norma NCh 2369Of.2003: Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales, aplica para diferentes tipos de estructuras y sistemas industriales, incluyendo criterios de seguridad sísmica de equipamientos y sistemas que pueden observarse en infraestructura portuaria y aeroportuaria, entre otros.

Considerando las diferentes normativas de diseño sismorresistente con que cuenta Chile, para fines comparativos con la normatividad peruana, solamente se considerarán aquellas enfocadas para el diseño sísmico de edificaciones.

Tabla 27. Normativa de diseño sismorresistente para edificaciones

CHILE 	PERÚ 
<p>Norma NCh 433 of 1996 Revisión 2009 Diseño sísmico de edificios</p>	<p>Norma Técnica E.030 (Actualizada 2016) "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones ⁷</p>
<p>Aplicación de esta norma: Esta norma establece requisitos exigibles para el diseño sísmico de edificios, y también se refiere a las exigencias sísmicas que deben cumplir los equipos y otros elementos secundarios de edificios. Esta norma no se aplica al diseño sísmico de otras obras civiles tales como puentes, presas, túneles, acueductos, muelles, canales.</p>	<p>Aplicación de esta norma: Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, a la evaluación y reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaren dañadas por la acción de los sismos. Para el caso de estructuras especiales tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas y todas aquellas cuyo comportamiento difiera del de las edificaciones, se podrá usar esta norma en lo que sea aplicable. Además de lo indicado en esta norma, se deberá implementar medidas de prevención contra los desastres que puedan producirse como consecuencia del movimiento sísmico: tsunamis, fuego, fuga de materiales peligrosos, deslizamiento masivo de tierras u otros.</p>

7. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento "Decreto Supremo N° 003-2016- Vivienda - Decreto Supremo que modifica la norma técnica e.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-vivienda, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-vivienda" (publicado en El Peruano, 24 enero 2016).

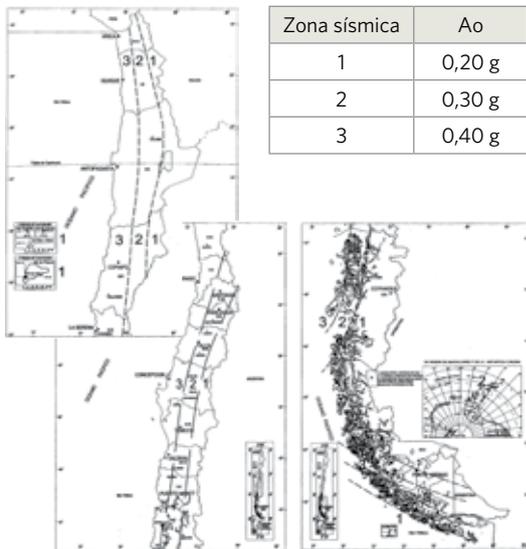
CHILE		PERÚ		
<p>Norma NCh 433 of 1996 Revisión 2009 Diseño sísmico de edificios</p>		<p>Norma Técnica E.030 (Actualizada 2016) "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones</p>		
<p>Filosofía y principios para el diseño: Esta norma está orientada a lograr estructuras que:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada; b. limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad; c. aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa. <p>Aun cuando los puntos anteriores mencionan tres niveles de intensidad de movimiento sísmico, esta norma no los define en forma explícita. Por otra parte, el estado del arte en la disciplina no permite establecer objetivos de desempeño más específicos que los antes genéricamente señalados.</p>		<p>Filosofía y principios para el diseño: La filosofía del Diseño Sismorresistente consiste en:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Evitar pérdida de vidas humanas. b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos. c. Minimizar los daños a la propiedad. <p>En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente norma los siguientes principios:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto. b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables. c. Para las edificaciones esenciales, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo. 		
<p>Categoría de edificaciones Esta norma hace una clasificación de ocupación de edificios y otras estructuras de acuerdo a su importancia, uso y riesgo de falla, la cual a continuación se presenta de manera resumida.</p>		<p>Categoría de edificaciones Esta norma establece las diferentes categorías de edificaciones, según lo cual se establece un factor de uso o importancia (U).</p>		
Naturaleza de la ocupación	Categ	Categ	Descripción	Factor U
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Instalac. esenciales en caso de catástrofe (hospitales; cuarteles de bomberos; garajes para vehículos de emergencia; estaciones terminales; refugios de emergencia) ▶ Estructuras auxiliares tales como torres de comunicación, tanques de combustible, subestaciones eléctricas, entre otros. ▶ Torres de control de aviación, centros de control de tráfico aéreo, y hangares para aviones de emergencia. ▶ Edificios y otras estructuras que almacenan o usan sustancias tales como combustibles peligrosos, productos químicos peligrosos, residuos peligrosos o explosivos 	IV 1.2	A Edificaciones Esenciales	A1: Establec. Salud de segundo o tercer nivel.	Ver nota ⁸
			A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: establec. salud; puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. Edif. que puedan servir de refugio después de un desastre (instituciones educativas, institutos superiores y universidades).	1.5

8. Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U será como mínimo 1,5.

CHILE		PERÚ	
<p>Norma NCh 433 of 1996 Revisión 2009 Diseño sísmico de edificios</p>		<p>Norma Técnica E.030 (Actualizada 2016) "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones</p>	
<p>► Edificios y estruct. cuyo contenido es de gran valor, tales como bibliotecas; museos.) ► Edificios y otras estructuras donde existe frecuentemente aglomeración de personas, tales como: salas destinadas a asambleas para 100 o más personas; estadios y graderías al aire libre; escuelas y recintos universitarios; cárceles; centros comerciales.</p>	<p>III 1.2</p>	<p>B Edif. importantes</p>	<p>Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas.</p> <p>1.3</p>
<p>Todos los edificios y otras estruct. destinadas a la habitación privada o al uso público que no pertenecen a las Categorías de Ocupación I, III y IV, y edificios u otras estructuras cuya falla puede poner en peligro otras construcciones de las Categorías de Ocupación I, II y IV.</p>	<p>II 1.0</p>	<p>C Edif. comunes</p>	<p>Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.</p> <p>1.0</p>
<p>Edificios y otras estruct. aisladas o provisionales no destinadas a habitación, no clasificables en las Categorías de Ocupación II, III y IV que representan un bajo riesgo para la vida humana en el caso de falla, tales como: Instalaciones agrícola; ciertas instalaciones provisorias, Instalaciones menores de almacenaje.</p>	<p>I 0.6</p>	<p>D</p>	<p>Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.</p> <p>Ver nota⁹</p>

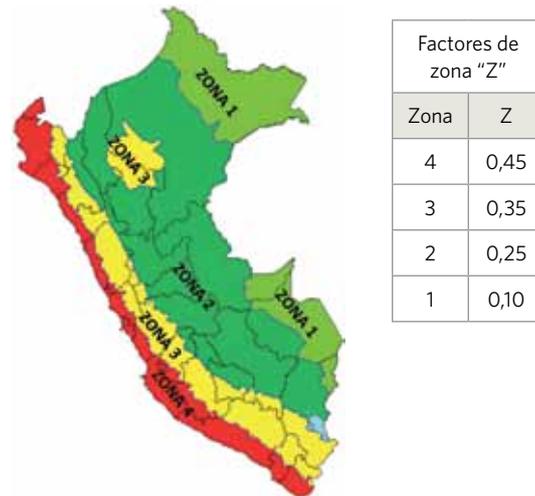
Zonificación

En función del valor de la aceleración efectiva máxima del suelo (Ao), donde la norma no es explícita en la probabilidad de excedencia, y período de retorno.



Zonificación

Esta norma establece 4 zonas, a los cuales se le asigna un factor Z, que se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años¹⁰. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.



9. En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

10. Equivalente a un período de recurrencia de aproximadamente 475 años.

CHILE 	PERÚ 
<p>Norma NCh 433 of 1996 Revisión 2009 Diseño sísmico de edificios</p> <hr/> <p>Instrumentación Al proyectar una obra, la autoridad competente puede exigir que en el proyecto se contemple la inclusión de por lo menos dos recintos adecuados para la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte.</p>	<p>Norma Técnica E.030 (Actualizada 2016) "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones</p> <hr/> <p>Instrumentación Las edificaciones que individualmente o en forma conjunta, tengan un área techada igual o mayor que 10.000 m², deberán contar con una estación acelerométrica, instalada a nivel del terreno natural o en la base del edificio. Dicha estación acelerométrica deberá ser provista por el propietario, siendo las especificaciones técnicas, sistemas de conexión y transmisión de datos debidamente aprobados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP).</p>

Normatividad para puertos marítimos

Dependiendo de las funciones y servicios que presta un determinado puerto, estará conformado por distintas estructuras (edificaciones, galpones, tanques, silos, entre otros), componentes (muelle, rompeolas, entre otros.) y equipamientos (grúas, cintas transportadoras, entre otros), por lo cual las normativas sismorresistentes presentadas anteriormente sólo aplican para determinados componentes.

Tabla 28. Normativa de diseño sismorresistente para puertos

CHILE 	PERÚ 
<p>No existe una norma de diseño sísmico para obras portuarias apoyadas en el fondo marino. La norma NCh 433 - Diseño sísmico de edificios, establece explícitamente en su alcance que no es aplicable a muelles ni a instalaciones industriales. Para obras portuarias, apoyadas en tierra firme rige la norma NCh 2369 - Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.</p>	<p>No existe una norma específica para el diseño sísmico para puertos, sin embargo la Norma Técnica E.030 (Actualizada 2016) "Diseño Sismorresistente", indica que "para el caso de estructuras especiales tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas y todas aquellas cuyo comportamiento difiera del de las edificaciones, se podrá usar esta norma en lo que sea aplicable".</p>

A pesar que no existen normas específicas para el diseño sísmico de puertos, tanto Chile como Perú cuentan con guías de diseño u otras normas de carácter general que orientan sobre el comportamiento esperado de este tipo de infraestructura frente a la ocurrencia de sismos, como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 29. Otra normativa de diseño sismorresistente para puertos

CHILE 	PERÚ 
<p>Guía de diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras - Volumen 1: Introducción En el Capítulo 2.4 Métodos de diseño, se realizan proposiciones que consideran el diseño sísmico y pretenden garantizar la prevención del colapso,</p>	<p>Norma nacional sobre seguridad portuaria La norma nacional sobre seguridad portuaria y lineamientos para la obtención del certificado de seguridad en una instalación portuaria, para el caso de sismos y tsunamis hace referencia a la necesidad que las instalaciones portuarias cuenten con</p>

CHILE



recomendando el diseño por desplazamiento. Los efectos de tsunamis y sismos son considerados en el Capítulo 2.7 Geotecnia, en el cual se abordan tópicos de ingeniería geotécnica relacionados con: filtración y consolidación; fundaciones superficiales; fundaciones profundas; estructuras de contención; estabilidad de talud; mejoramiento de terreno y empuje del agua.

En dicho capítulo existe una sección (2.7.9.2) dedicada exclusivamente a la licuefacción del suelo debido a la acción sísmica.

Guía de diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras - Volumen 2: Diseño, Parte II

El Capítulo 4. Criterios específicos según tipología considera entre otras cosas la sección 4.11 Obras de protección contra tsunamis en donde se entregan orientaciones para:

- ▶ Diseño estructural para edificaciones en zonas inundables por tsunamis;
 - ▶ Medidas de prevención ante tsunamis;
 - ▶ Riesgo de inundación de tsunamis;
 - ▶ Infraestructura que mitiga daño por tsunami
- En relación a la consideración de las acciones sísmica, en este volumen se hacen consideraciones al respecto para:
- ▶ Presión de agua residual ante un sismo.
 - ▶ Selección de tipología estructural de muelles (sección 4.4.2)
 - ▶ Sistemas de transporte y manipulación de carga en muelles piloteados (sección 4.4.2.3)
 - ▶ Estados de carga de muelle de gravedad (sección 4.4.2.4)
 - ▶ Estados de carga de muelles de pantalla (sección 4.4.2.5)
 - ▶ Consideración de la selección de tipología estructuras de rampas (sección 4.4.3)
 - ▶ Diseño de tuberías de aducción, diseño de tubería de descarga, diseño de elemento de fijación (Sección 4.8: Ductos y tuberías)

PERÚ



planes de respuesta y planes de evacuación en caso de emergencias, así como la realización de ejercicios de emergencia periódicos.

Código internacional para la protección de los buques y de las instalaciones portuarias

Asimismo, el Perú es parte de la Organización Marítima Internacional (OMI) y signataria del Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias (CÓDIGO PBIP), en el cual se resalta el requerimiento y necesidad de que las instalaciones portuarias y buques cuente con planes de emergencia y contingencia frente a eventos adversos, donde se incluyen los desastres producto de sismos y tsunamis

Ley y Reglamento del sistema portuario nacional

La ley del sistema portuario nacional, bajo el Art 33-Seguridad integral y calidad, en el inciso 33.3 se indica *"Las autoridades que intervienen en relación a las actividades y servicios portuarios,...contando con programas de contingencia para casos de desastres que afecten a la actividad..."*

El Reglamento de la ley del sistema portuario nacional, establece en el Art.64 que *"...el administrador portuario prestará en la zona portuaria los siguientes servicios generales:...g) prevención y control de emergencias"*. Asimismo en el Art.130 se indica que *"la autoridad nacional portuaria establecerá los estándares mínimos de los sistemas de seguridad integral de los puertos y terminales portuarios. Las autoridades portuarias regionales aprobarán anualmente los planes de contingencia de seguridad integral de los puertos y terminales portuarios..."*

Contrato de concesión portuaria

El contrato de concesión considera en la Cláusula 5 - Operación de la Concesión, en situaciones de emergencia en donde se establece que *"El operador principal deberá contar con un plan de emergencias y operación de siniestros, aceptable en todo aspecto a OSITRAN."*

Por otra parte, el contrato de concesión considera una cláusula específica sobre seguros, en la Cláusula 20 - Seguros, lo siguiente:

20.2 Seguro de Responsabilidad y de Propiedad.

Durante la vigencia del presente contrato, el concesionario tomará y mantendrá en vigor los siguientes seguros...:

20.2.1 Un seguro que cubra el costo de reemplazo de las construcciones, maquinaria y equipo de la Terminal Portuaria. La contratación de las pólizas pertinentes deberá adecuarse a la naturaleza de cada bien. Las coberturas serán cuando menos las siguientes: daños parciales o totales por agua, terremoto, incendio, explosión, guerra, terrorismo, vandalismo, conmoción civil, robo, hurto y apropiación ilícita.

Normatividad para aeropuertos

Algunas de las estructuras que componen un aeropuerto están sujetas a los criterios de las normas de diseño sismorresistente, tales como: torre de control, cuartel de bomberos (SEI), terminal de pasajeros y otras según las características propias de cada aeropuerto

Tabla 30. Normativa de diseño sismorresistente para aeropuertos

CHILE 	PERÚ 
<p>Norma NCh 433 of 1996 Revisión 2009 Diseño sísmico de edificios Según esta norma, según la naturaleza de ocupación, algunas de las categorías que consideran estructuras que habitualmente se encuentran en aeropuertos se destacan las siguientes:</p> <p>Categoría IV</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Instalaciones esenciales en caso de catástrofe: cuarteles de bomberos; garajes para vehículos de emergencia; estaciones terminales. ▶ Estructuras auxiliares tales como torres de comunicación, tanques de combustible, subestaciones eléctricas, entre otros. ▶ Torres de control de aviación, centros de control de tráfico aéreo, y hangares para aviones de emergencia. <p>Categoría III Edificios y otras estructuras donde existe frecuentemente aglomeración de personas.</p>	<p>Norma Técnica E.030 (Actualizada 2016) “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones Entre las diferentes categorías de edificaciones, que establece esta norma se incluyen explícitamente algunas que habitualmente se encuentran en aeropuertos</p> <p>Edificaciones esenciales (A) A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: aeropuertos, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos.</p> <p>Edificaciones importantes (B) Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como: terminales de pasajeros.</p>

Normatividad para carreteras

De la normatividad para el diseño de carreteras, a la que se tuvo acceso, sólo se evidenciaron consideraciones de diseño sísmico para puentes, las cuales se presentan a continuación.

Tabla 31. Normativa de diseño sismorresistente para infraestructura de carreteras

CHILE 	PERÚ 
<p>Nuevos criterios de diseño sísmico para puentes en Chile - Complementa Volumen 3 del Manual de Carreteras (Capítulo 3.1000 Puentes y estructuras afines) Estos criterios son construidos en base al aprendizaje del MOP-Chile de los daños ocasionados en los puentes a raíz del terremoto del 27 de febrero de 2010, donde se detallan requisitos tanto para la superestructura e infraestructura de los puentes según se indica a continuación:</p> <p>Superestructura</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Ancho mínimo de la mesa de apoyo; ▶ Comportamiento sísmico de tableros esviados/oblicuos; 	<p>Manual de diseño de Puentes (MTC-2003) En este manual se hacen consideraciones para el diseño sismorresistente de puentes en algunos de los ámbitos considerados tales como:</p> <p>Título I: De la ingeniería básica</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Estudios de riesgo sísmico: que tienen por objetivo la determinación de los espectros de diseño que definan los componentes horizontal y vertical del sismo a nivel de la cimentación <p>Título II: Del proyecto de ingeniería</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Cargas sísmicas para el análisis, las disposiciones de cargas sísmicas aplican para el estado límite frente eventos extremos, para puentes simplemente apoyados, puentes de varios tramos

CHILE 	PERÚ 
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cálculo sísmico de conexiones para puentes (placas de apoyo, juntas de dilatación, barras de anclaje); ▶ Anclaje de placas de apoyo; ▶ Topes sísmicos intermedios y extremos; ▶ Continuidad de los tableros; ▶ Consideraciones para puentes cercanos al mar. <p>Estructura</p> <p>Unión monolítica para estructuras como pasarelas. Asimismo, estos nuevos criterios consideran algunas disposiciones sísmicas a ser implementadas en el mediano y largo plazo, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Definir espectros sísmicos y microzonificación; ▶ Política de instrumentalización de puentes; ▶ Utilización de dispositivos sismorresistentes; ▶ Barras de anclaje. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Disposiciones para el análisis sísmico, para las diferentes zonas sísmicas del país, definiendo requisitos para columnas, refuerzo longitudinal, resistencia a la flexión, refuerzo transversal y de corte en columnas, requerimientos para pilares tipo muro, refuerzo en articulaciones plásticas, entre otras consideraciones.

Habiendo realizado el análisis normativo y su vinculación con los objetivos de desempeño establecidos en este paso, y la propuesta de indicadores de desempeño propuestos por representantes de las respectivas infraestructuras, a continuación se da paso al desarrollo de la aplicación de la Fase II de la metodología, donde se tendrá en consideración la información antes señalada.

Fase II. Identificación del riesgo

La presente Fase tiene por objetivo analizar el riesgo de desastres e identificar las acciones para prevenir y gestionar el riesgo de forma tal que aumente la resiliencia de la infraestructura.

Metodología

Para el análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo de las infraestructuras se considera realizar las siguientes actividades:

1. Estimación y caracterización de las amenazas
2. Análisis de vulnerabilidad
3. Análisis de riesgo
4. Identificación de posibles medidas de reducción de riesgo

En relación a la actividad que contempla la **estimación y caracterización de las amenazas**, se llevaron a cabo estimaciones de las amenazas posibles de afectar a cada una de las zonas de emplazamiento de la infraestructura seleccionada. En particular, las amenazas a tener en consideración para este estudio corresponden a sismos y tsunamis. El estudio de amenaza sísmica fue basado en antecedentes existentes, identificando las fuentes sísmicas para cada zona de estudio y generando un catálogo sísmico que permitió desarrollar curvas de recurrencia. Con ello se definió la demanda sísmica en términos probabilísticos para sismos con distinto período de retorno, así como valores de aceleración máxima del suelo (PGA) y aceleración espectral para diferentes períodos estructurales.

El estudio de amenaza por tsunami se basó en la estimación de los parámetros geométricos de la falla, con los cuales se calculó la deformación vertical del suelo y la propagación del tren de ondas de acuerdo a la batimetría y morfología de cada zona de interés para estimar alturas de inundación.

Para el **análisis de vulnerabilidad** se llevaron a cabo dos actividades principales: una de ellas considera una campaña en terreno que tiene por objetivo revisar el estado actual de la infraestructura crítica, complementar la información existente provista por el cliente y caracterizar desde un punto de vista de su diseño sísmico la infraestructura crítica seleccionada. La segunda actividad utilizó la información existente y la recopilada para estimar curvas de fragilidad, las cuales fueron la base para obtener las funciones de vulnerabilidad para cada componente de infraestructura a ser analizado. Las funciones de vulnerabilidad que relacionan la medida de intensidad de la amenaza (aceleración en el caso de sismo y altura de inundación en el caso de tsunami) con el valor esperado del daño.

En relación al **análisis de riesgo**, se lleva a cabo empleando la información digital resultado de los análisis de amenaza y vulnerabilidad obtenido en las primeras etapas del estudio.

Finalmente, en relación a la **identificación de posibles medidas de reducción de riesgo**, se propuso en términos conceptuales, las posibles medidas de reducción del riesgo asociadas a la identificación de potenciales debilidades de la infraestructura analizada frente a las amenazas consideradas. Las alternativas son variadas y van desde el refuerzo estructural a la implementación de sistemas de protección, mitigación o prevención.

Enfoque del estudio

Durante el desarrollo de la aplicación piloto y trabajando en conjunto con los coordinadores nacionales COSIPLAN-IIRSA, de Chile y Perú, se seleccionaron para el desarrollo del análisis de riesgo las siguientes 4 infraestructuras:

1. Aeropuerto de Arica, Chile
2. Aeropuerto de Tacna, Perú
3. Puerto de Arica, Chile
4. Puerto de Matarani, Perú

Se analizó en diversas reuniones y estableció como críticos los siguientes componentes de dichas infraestructuras, que formarán parte de este estudio:

1. Aeropuerto de **Arica**

- ▶ Estructura terminal de pasajeros
- ▶ Pista de aterrizaje
- ▶ Sistema de agua potable



3. Puerto de **Arica**

- ▶ Equipos de grúas móviles
- ▶ Sitio 2
- ▶ Edificio administrativo



2. Aeropuerto de **Tacna**

- ▶ Estructura terminal de pasajeros
- ▶ Pista de aterrizaje
- ▶ Estación Cuartel S.E.I.



4. Puerto de **Matarani**

- ▶ Ruta crítica manejo de minerales

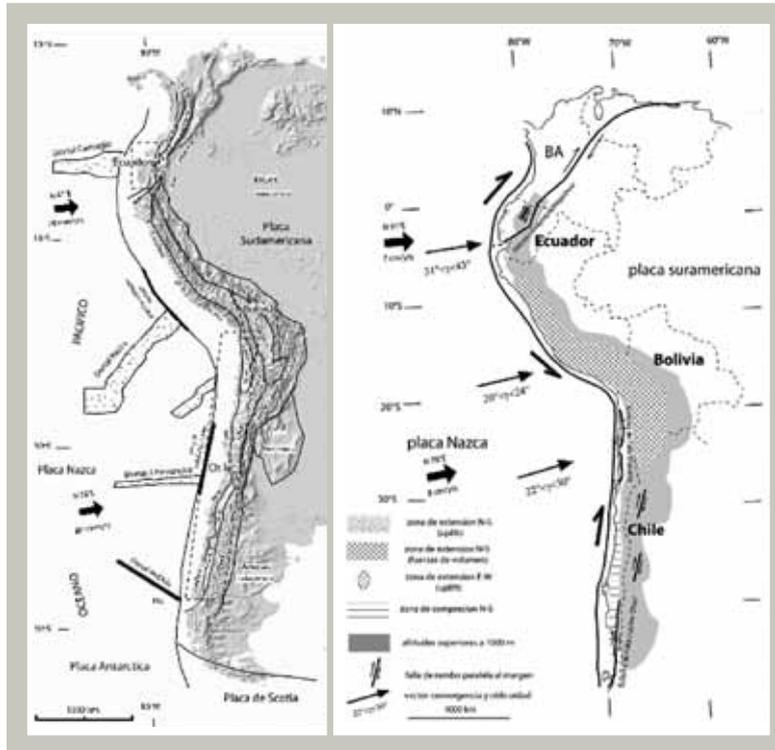


Resultado del estudio

Estimación y caracterización de las amenazas (sismo)

Los grandes sismos que ocurren en el área de estudio (sur de Perú y norte de Chile) a lo largo de la costa del Océano Pacífico, son causados por la subducción de las placas oceánicas de Nazca y Antártida bajo la placa continental sudamericana (figura 22).

Figura 22. Marco Tectónico de Chile (Lavenu A, 2006)



Para llevar a cabo el análisis probabilista de riesgo, se requiere contar con un modelo de peligro sísmico en formato digital y con la estructura requerida para ser utilizado en el programa de cómputo experto que permita llevar a cabo los cálculos computacionales; se presentan a continuación las características principales de este modelo de peligro sísmico para el área de estudio.

Debido a que las incertidumbres para predecir la ocurrencia de un evento sísmico son muy elevadas, así como las demandas sísmicas que induce a una estructura, se hace uso del análisis probabilista de la amenaza sísmica (PSHA por sus siglas en inglés) para tomar en cuenta dichas incertidumbres, a través de modelos probabilísticos sobre la actividad sísmica de la fuente y de modelos de atenuación que permiten estimar la intensidad de un sismo en un determinado sitio, a partir de su magnitud en la fuente que lo generó y la distancia entre la fuente y el sitio de interés.

Los resultados del PSHA también son expresados a través de una curva de peligro sísmico, la cual representa la tasa anual de excedencia (o período de retorno) de los valores de aceleración máxima del suelo (PGA). En las siguientes figuras se presenta a manera de ejemplo los resultados de las curvas de tasa de excedencia y período de retorno de aceleración del suelo.

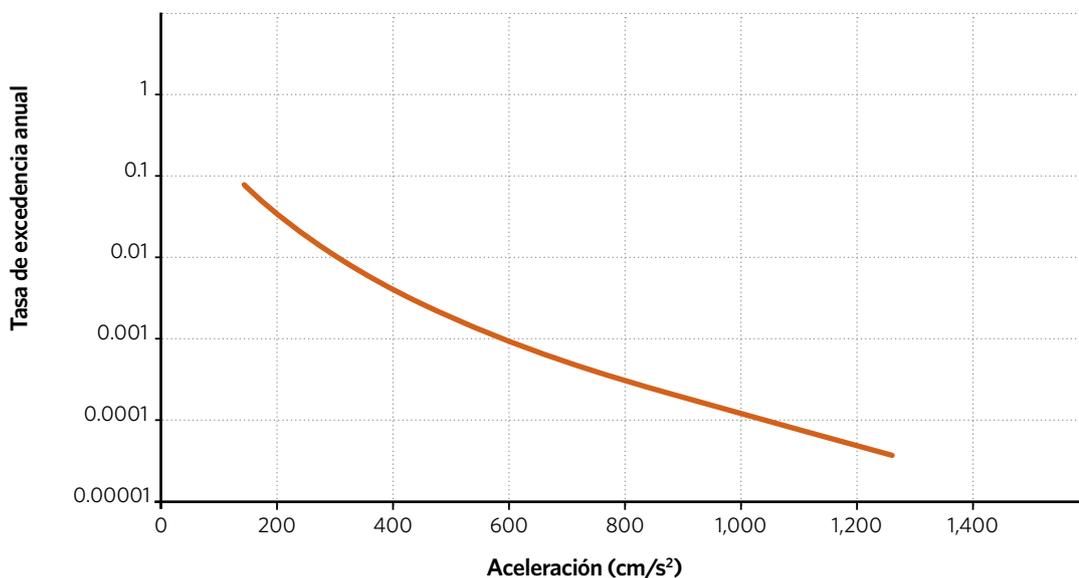
Amenaza sísmica para la ubicación de la infraestructura aeroportuaria

Para la estimación y caracterización de las amenazas de los aeropuertos de Arica y Tacna, se presentan en las figuras 23 y 24, las tasas de excedencia de aceleración del suelo calculadas con el modelo de peligro sísmico desarrollado en los respectivos proyectos.



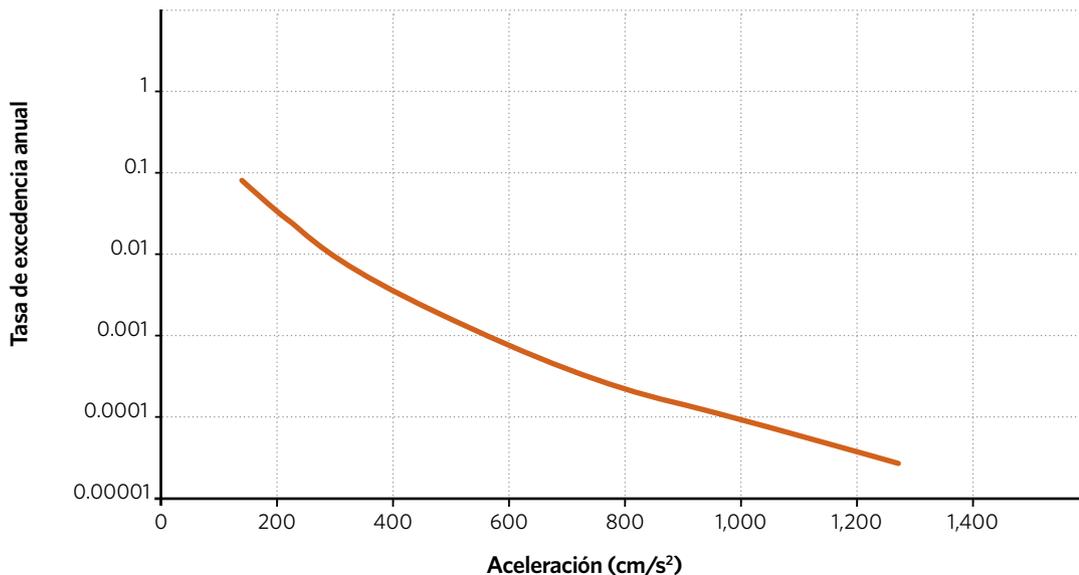
AEROPUERTO DE ARICA

Figura 23. Tasa de excedencia de aceleración del suelo del Aeropuerto de Arica



AEROPUERTO DE TAGNA

Figura 24. Tasa de excedencia de aceleración del suelo del Aeropuerto de Tacna



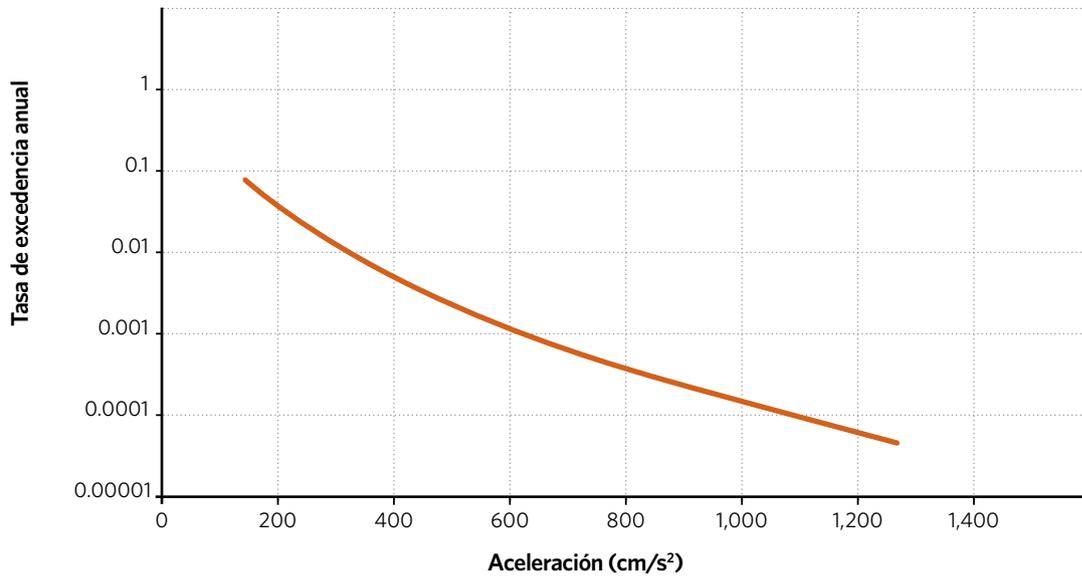
Amenaza sísmica para la ubicación de la infraestructura portuaria

Para la estimación y caracterización de las amenazas de los puertos de Arica y de Matarani, se presentan en las figuras 25 y 26, las tasas de excedencia de aceleración del suelo calculadas con el modelo de peligro sísmico desarrollado en los respectivos proyectos.



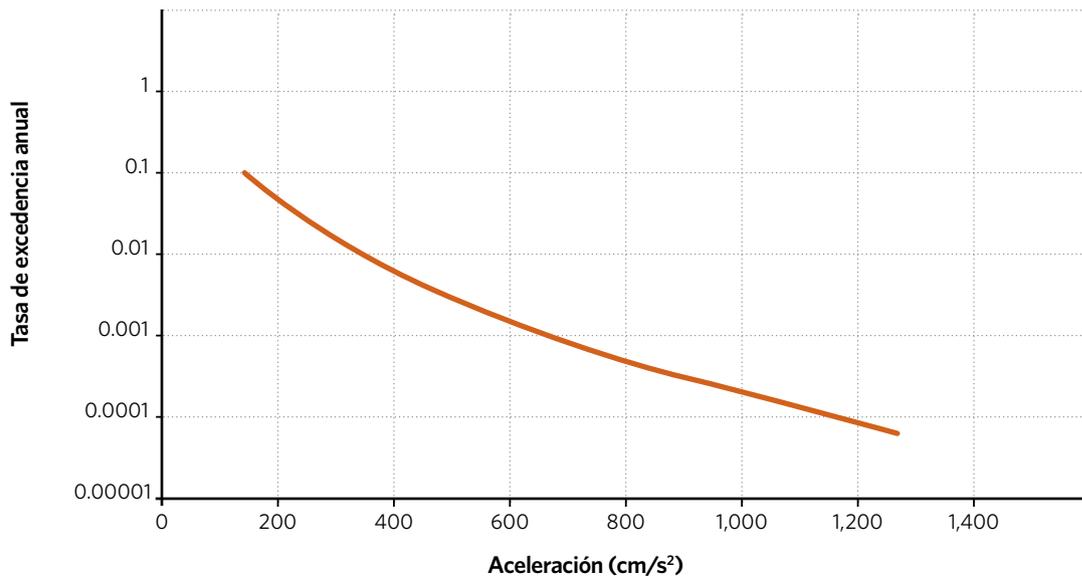
PUERTO DE ARICA

Figura 25. Tasa de excedencia de aceleración del suelo del Puerto de Arica



PUERTO DE MATARANI

Figura 26. Tasa de excedencia de aceleración del suelo del Puerto de Matarani



Análisis de vulnerabilidad

La metodología de trabajo considera el análisis de vulnerabilidad sísmica de los componentes estructurales y no estructurales principales de la infraestructura seleccionada. La inspección visual de la campaña de campo se concentra en: entorno geográfico y geotécnico, emplazamiento y condiciones locales, materiales y estado de la construcción, estructuración, detallamiento estructural y equipamiento, entre otros.

En esta sección se presenta un resumen que incluye la descripción general de la infraestructura aeroportuaria y portuaria seleccionada de Chile y Perú, basada en la información existente e inspección visual de terreno y curvas de vulnerabilidad de distintas estructuras, sistemas y equipos identificados como vulnerables.

Infraestructura aeroportuaria



AEROPUERTO DE ARICA

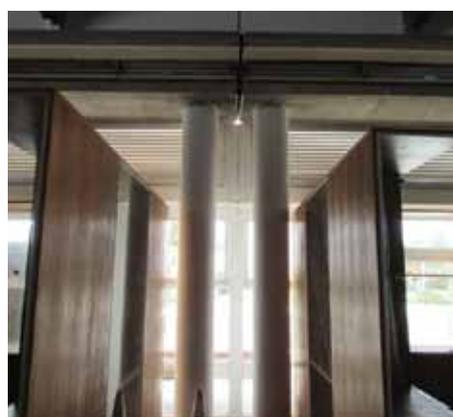
Terminal de Pasajeros

La estructura sismorresistente consiste en un sistema de marcos de concreto reforzado de un piso y columnas en volado que sirven de apoyo a una cubierta de madera laminada. La estructura de la terminal de pasajeros incluye esquemáticamente la disposición de las columnas rectangulares y circulares que conforman el sistema de marcos. En general, las columnas de hormigón armado no evidencian daños ni fisuramiento en la base.

Figura 27. Vista principal interior estructura terminal de pasajeros

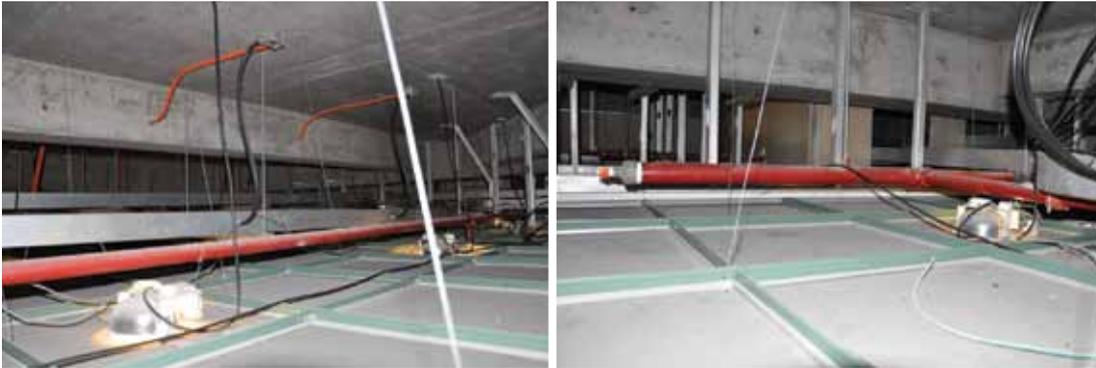


Figura 28. Columnas de hormigón armado en la zona de la junta de dilatación



Los elementos no estructurales masivamente más usados en el aeropuerto corresponden a paredes no estructurales y cielos rasos.

El cielo raso se encuentra suspendido por alambres de acero que se hallan fijados a la losa mediante anclajes proyectados. No se observan elementos de arriostre. No se observan clips de fijación en el cielo. Los perfiles utilizados son estándar, no son perfiles para trabajo pesado (heavy duty). No se observan dilataciones en el perímetro de los paños de cielo raso.

Figura 29. Red de incendio sin arriostres sísmicos

Entre el mobiliario y equipo evaluado se encuentran archivadores de las oficinas de administración, que no se encuentran fijos a paredes, los equipos de comunicación de la terminal, que no cuentan con elementos de anclaje, y su correspondiente UPS, que se observa susceptible de deslizamiento o vuelco.

Figura 30. Archivadores sin protección sísmica**Figura 31.** Equipo de comunicaciones sin anclaje

Pista de aterrizaje

A continuación se presenta una serie de imágenes de distintos sectores de la pista de aterrizaje, donde se puede apreciar el deterioro de ésta en términos de grietas, pérdida de material y modificación en la rasante.

Sistema de agua potable

Se observa que en la sala de impulsión los dispositivos de los gabinetes cuentan con conexión positiva. No obstante, el gabinete carece de un anclaje; en relación a la red propiamente dicha no se presentan observaciones.

Figura 32. Pavimento pista de aterrizaje



Figura 33. Grietas pavimento pista de aterrizaje



Figura 34. Sala eléctrica sistema de impulsión



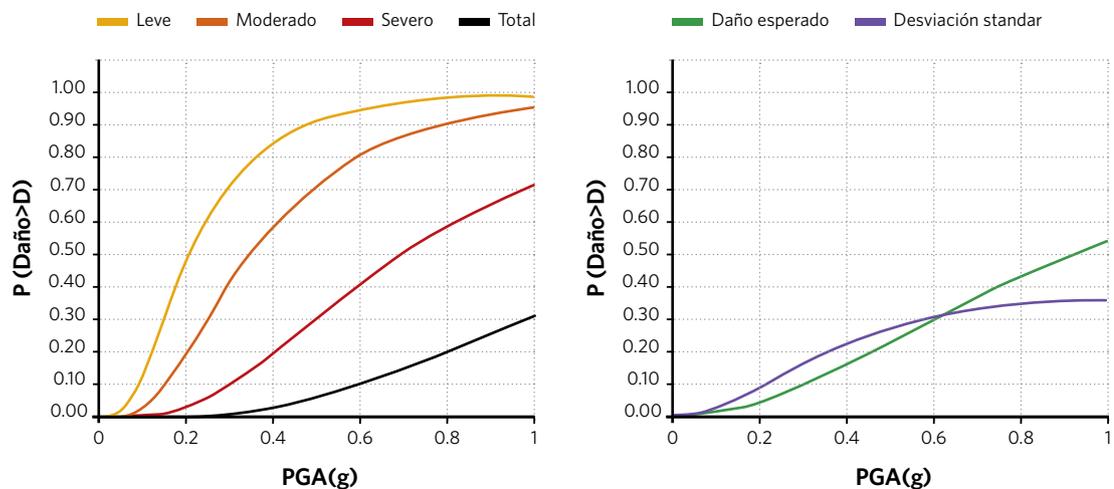
Figura 35. Gabinete eléctrico sala de impulsión con anclaje



Curvas de vulnerabilidad para el Aeropuerto de Arica

A partir de las observaciones de campo, utilizando juicio experto e información descrita en la literatura, se han asignado curvas de vulnerabilidad a las distintas estructuras, sistemas y equipos identificados como vulnerables. La figura siguiente muestra un ejemplo de las curvas de fragilidad y de vulnerabilidad estructural generadas para el edificio terminal.

Figura 36. Curvas de fragilidad y vulnerabilidad para el sistema terminal de pasajeros - Estructura





Terminal de Pasajeros

La terminal de pasajeros del Aeropuerto de Tacna está conformado por 3 estructuras de un piso separadas por juntas de dilatación. La estructura está compuesta por marcos resistentes en 1 y 2 direcciones.

La figura 37 muestra un acercamiento a las columnas dilatadas que indican dónde termina el sector antiguo de la terminal y dónde comienza el sector remodelado. Se observa la interacción entre ambas estructuras por el desprendimiento de la pintura en la zona de la junta.

En la figura 38 se muestra una sección de la red de incendio que se encuentra en el hall principal de la terminal. Si bien se observan elementos de fijación y arriostre, la red de incendio no cuenta con arriostres sísmicos en otros sectores de la terminal.

La figura 39 muestra la conexión de los elementos de soporte de las escalerillas y de los muros de tabiquería liviana a las vigas aligeradas. También se observa que las varillas se encuentran fijas al techo mediante tacos de expansión post-instalados, que no serían adecuados para aplicaciones en zonas sísmicas.

La figura 40 muestra el detalle de la conexión de la diagonal de techo de la estructura metálica, la cual carece de detallamiento sísmico adecuado, tanto por su ubicación de la conexión como por su tipo.

Figura 37. Junta estructural entre estructura original y remodelada



Figura 38. Anclajes de red de incendio



Figura 39. Anclaje de escalerillas y tabiquerías



Figura 40. Detalle conexión diagonal de techo



Cielos rasos

El cielo raso está suspendido por alambres de acero que se encuentran fijos a la losa mediante anclajes proyectados (figura 41). No se observan elementos de arriostre. No se observan clips de fijación en el cielo. Los perfiles utilizados son estándar, no son perfiles para trabajo pesado (heavy duty). No se observan dilataciones en el perímetro de los paños de cielo raso. Los sistemas de iluminación, que se apoyan directamente sobre el cielo raso, no cuentan con un sistema de sujeción independiente. Se observan escalerillas para el transporte de cables y ductos. Se observa que cables instalados con posterioridad se encuentran apoyados directamente sobre el cielo raso.

Equipos, mobiliario y sistemas distribuidos

Se incluye entre los equipos y mobiliario evaluados las cintas transportadoras, los equipos de rayos X, las estaciones de trabajo y mesones de atención (incluyendo computadores) y los equipos de aire acondicionado. Entre el mobiliario y equipo evaluado se encuentran los equipos eléctricos de comunicación de la terminal, que no cuentan con los pernos de anclaje necesarios.

Pista de Aterrizaje

La pista principal tiene una longitud de 2.500 m y un ancho de 45 m. En el año 2014 terminó la rehabilitación de los pavimentos de la pista, los cuales se encuentran en buen estado.

Figura 41. Cielos rasos sector Aduana



Figura 42. Equipo de comunicaciones sin anclaje



Figura 43. Ausencia de anclajes en equipo eléctrico



Cuartel S.E.I. (Servicio de Rescate y Extinción de Incendios)

Si bien la estructura de techumbre del garaje se proyecta parcialmente desde la estructura de mampostería confinada donde se encuentran las oficinas y dependencias del personal, no se observan arriostres de techo ni un mínimo diseño sismorresistente de la estructura de acero, que permitan inferir que las cargas sísmicas puedan ser transmitidas a la estructura de mampostería o resistidas por la estructura metálica. Adicionalmente, no se observan arriostres verticales, los perfiles utilizados se observan relativamente esbeltos, y todas las conexiones son soldadas.

Figura 44. Vista cuartel S.E.I.



En la figura 45 se muestra la disposición de cilindros de gas comprimido sobre estantes de madera que no se encuentran fijos a la pared. De igual manera, el almacenamiento para los contenedores es inadecuado, ya que podrían deslizarse fuera del estante. Se requiere el uso de estanterías con un diseño sismorresistente adecuado.

La figura 46 muestra tambores de 200 litros de polietileno de alta densidad y metálicos que contienen combustible, y que se encuentran apoyados sobre pallets de madera, sin contar con arriostres o topes que prevengan su deslizamiento o vuelco. Los estanques tienen 90 cm de altura y 60 cm de diámetro.

Figura 45. Cilindros de gas comprimido en estante de Cuartel S.E.I.



Figura 46. Almacenamiento de combustible Cuartel S.E.I.



La figura 47 muestra estantes de madera con gran cantidad de elementos apilados en la parte superior. Los estantes de madera no tienen arriostres diagonales y tampoco se encuentra fijo a la pared. En relación al contenido, éste es muy susceptible de caer.

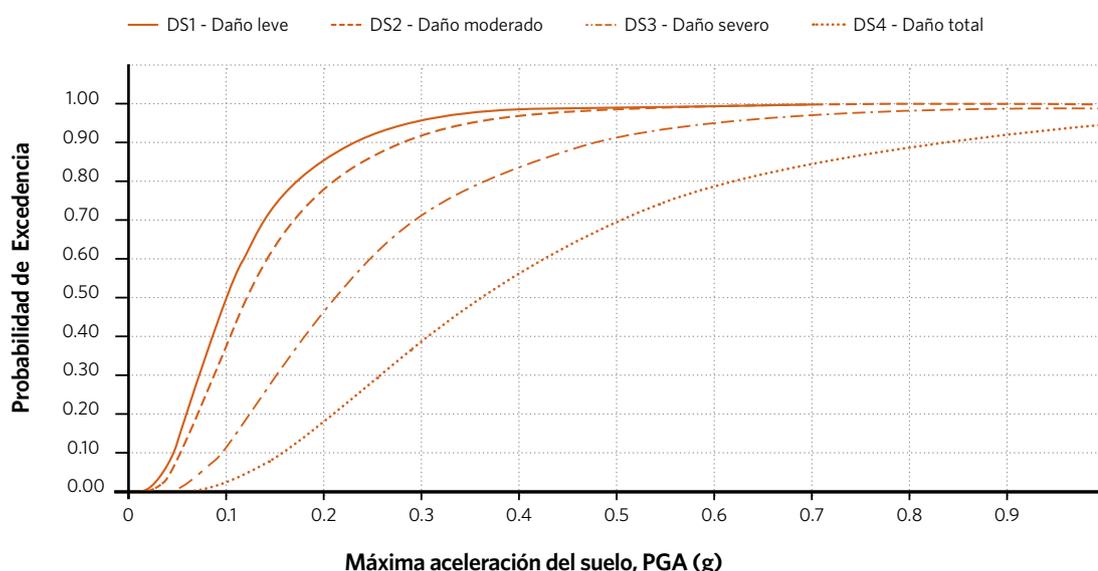
Figura 47. Bidones y cilindros en Cuartel S.E.I.



Curvas de fragilidad para el Aeropuerto de Tacna

A partir de las observaciones de campo, utilizando juicio experto e información descrita en la literatura, se ha asignado curvas de fragilidad a las distintas estructuras, sistemas y equipos identificados como vulnerables. La figura siguiente muestra un ejemplo de las curvas de fragilidad estructural generadas para el Aeropuerto de Tacna.

Figura 48. Curvas de fragilidad estructural edificio administrativo



Infraestructura portuaria



PUERTO DE ARICA

Se observa algunos daños visibles. Se aprecia daños en la zona de conexión entre el elemento de fachada y el pilar metálico, los cuales podrían comprometer la integridad de la fachada y la seguridad de los usuarios durante una evacuación. Adicionalmente, se aprecia un agujero sobre la losa del segundo nivel, que si bien no tiene tránsito de personal, podría vaciarse en caso que el daño comprometa el ancho de la losa, que en esa sección, parece estar rellena con piedras.

Existen equipos instalados en el techo de la estructura, los cuales se encuentran montados sobre una estructura metálica. Se aprecia que los sistemas de distribución de la ventilación se encuentran apoyados directamente sobre el techo de la estructura.

Figura 49. Daños de la fachada posterior



Se muestra en detalle el estado de la conexión a la estructura de soporte, la cual presenta un alto grado de oxidación. No se cuenta con información sobre el diseño de las conexiones y del sistema de soporte metálico que sostiene los equipos de aire acondicionado.

El ambiente marino ha generado un deterioro de la pintura y del acero en la grúa. Se muestra un pasador de conexión del enrejado de la pluma de la grúa, el cual evidencia el avance de la oxidación.

Figura 50. Equipos de aire acondicionado en techo



Figura 51. Estructura metálica soportante



Figura 52. Conexión a la estructura de soporte de aire acondicionado



Figura 53. Pasador pluma grúa Arica



Muelle Sitio 2

En general, se observa que el muelle del Sitio 2 está en buenas condiciones.

La unión entre la tablestaca y las vigas de hormigón armado de sección L dispuesta como viga de coronamiento, presentan corrosión en sectores extensos, en los cuales incluso existe desprendimiento del recubrimiento estructural dejando en evidencia la armadura.

Figura 54. Estado del hormigón de losa



Curvas de fragilidad y vulnerabilidad para el Puerto de Arica

En las siguientes figuras se muestran ejemplos de las curvas de fragilidad y de vulnerabilidad estructural generadas para el edificio administrativo y para el sistema muelle, respectivamente:

Figura 55. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema edificio administrativo

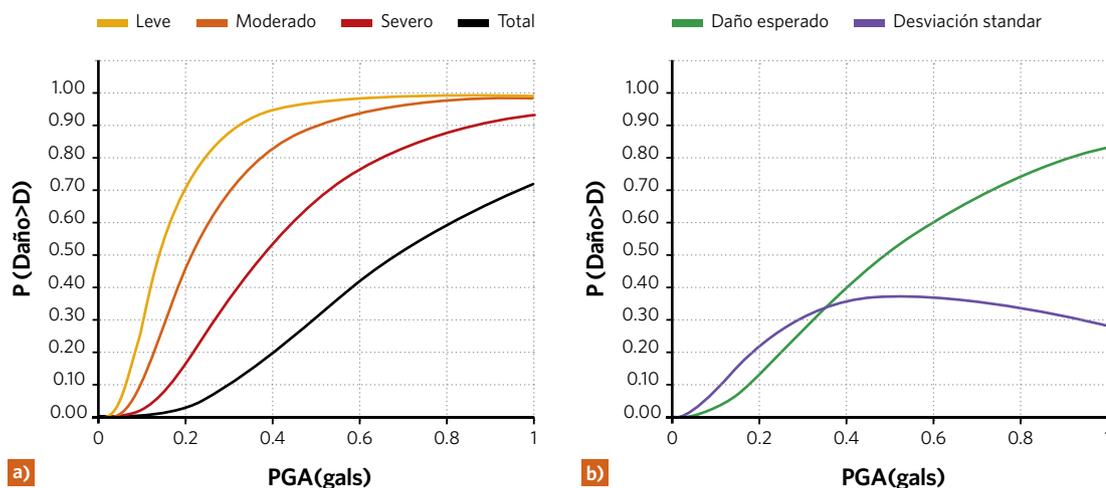
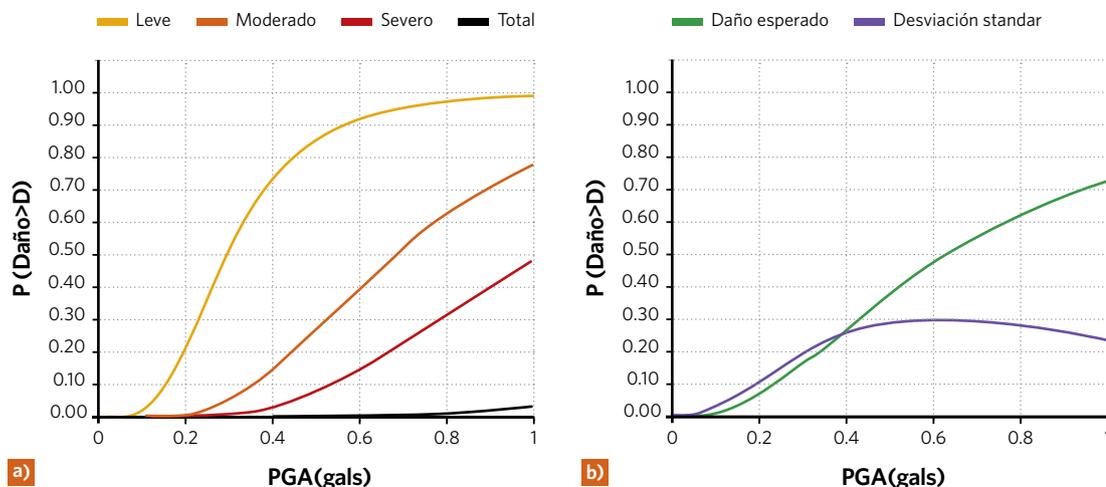


Figura 56. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema muelle





Almacenes

Se observan columnas que presentan fisuras horizontales cercanas a la base, las cuales se manifiestan como respuesta, presumiblemente, a solicitaciones de flexión. No se dispone de los planos de armaduras de las columnas y vigas de confinamiento, por lo que no es posible realizar un análisis detallado de estos elementos.

Figura 57. Daño en columna marco sismorresistente



Fajas transportadoras

Se muestran ejemplos de la condición de pandeo local de los elementos de la estructura de soporte (figuras 58 y 59).

La figura 60 muestra una fisura en la conexión entre la columna y la diagonal. La conexión está soldada a la columna y apernada a la diagonal. La fisura se encuentra en ambos extremos de la conexión.

Figura 58. Daño en perfil de estructura de soporte correa transportadora



Figura 59. Daño en perfil de estructura de soporte correa transportadora



Figura 60. Fisura en perfil estructura de soporte correa transportadora



Edificio administrativo

Se observan equipos de cocina, como el horno mostrado en la figura 61, que se encuentran apoyados sobre estructuras de soporte metálicas no ancladas al suelo. Los equipos no se encuentran fijados a la pared. La altura aproximada de estos equipos es de 2 m y su ancho de 1,3 m, por lo que se estima podrían ser susceptibles de deslizamiento o vuelco.

Entre el mobiliario evaluado se encuentra la alacena de cocina y la alacena de insumos de oficina, que no se encuentran fijados a la pared. Se estima que este mobiliario podría ser susceptible de deslizamiento o vuelco, puesto que tienen una altura aproximada de 1,5 y 2,0 m, respectivamente, y un ancho de 0,8 m.

Figura 61. Hornos cocina



Figura 62. Alacena cocina



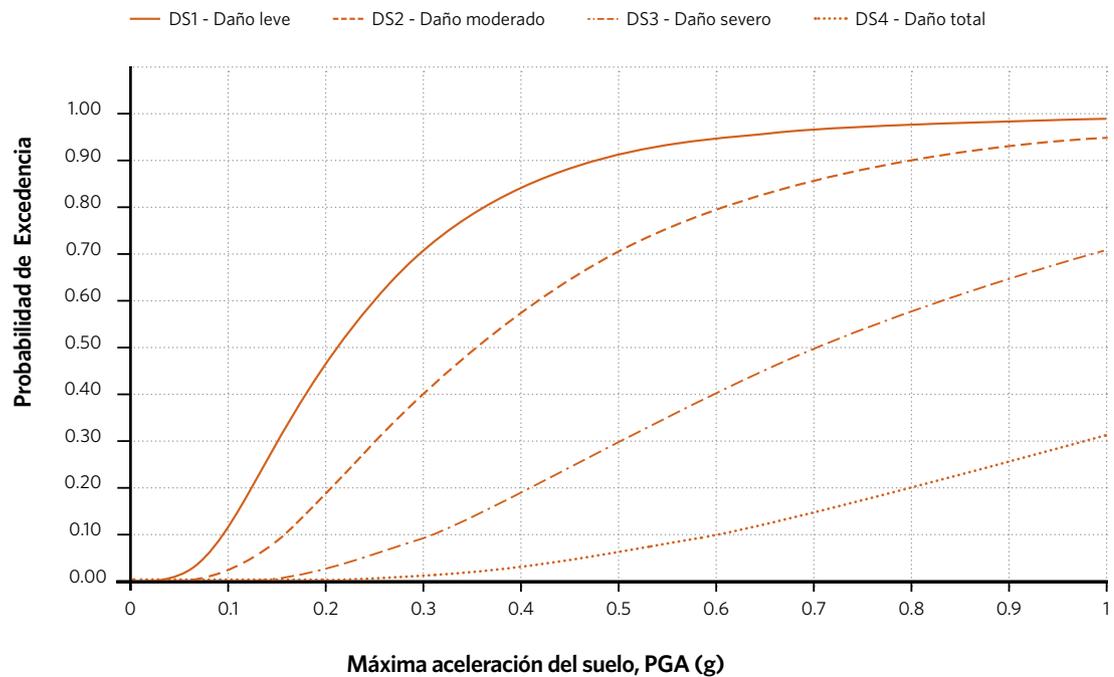
Figura 63. Estanques de agua potable en techo



Los estanques de agua potable son de fibra de vidrio y se encuentran en el techo, simplemente apoyados sobre estructuras de hormigón armado. Se requiere implementar restricciones al desplazamiento lateral de los estanques, los cuales son sísmicamente vulnerables.

Curvas de fragilidad para el Puerto de Matarani

Figura 64. Ejemplo curvas de fragilidad estructural edificio administrativo



Análisis de riesgo

Los principales resultados del análisis probabilista de riesgo son:

- ▶ Prima Pura de Riesgo (ó Pérdida Anual Esperada)
- ▶ Curva de Pérdida vs Período de retorno (conocida como curva de PML), así como la Curva de Pérdida vs Tasa de Excedencia de la Pérdida (la tasa de excedencia es el inverso del período de retorno).
- ▶ Pérdida ante eventos específicos.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

Infraestructura aeroportuaria



AEROPUERTO DE ARICA

Los componentes principales para el análisis de riesgo en el Aeropuerto de Arica se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 32. Componentes de infraestructura en el Aeropuerto de Arica

#	Componente	Descripción estructura/sistema
1	Terminal de pasajeros	Estructura de concreto reforzado de uno y dos pisos con columnas en voladizo diseñada en conformidad con NCh433.Of96 y ACI318-95.
2	Edificio S.E.I.	Sector de oficinas, de dos niveles, estructurado en base a mampostería confinada por pilares y cadenas de concreto reforzado.
3	Edificio S.E.I.	Sector de techumbre estructurado en base a perfiles tubulares de acero, de doble altura, sin detallamiento sísmico.
4	Sala eléctrica	Estructura.

A partir de esta información se formó una base de datos geográfica, la cual se empleó como insumo del programa de cómputo experto para llevar a cabo el análisis probabilista de riesgo.

Figura 65. Curva de Pérdida vs Período de Retorno, por sismo para el Aeropuerto de Arica

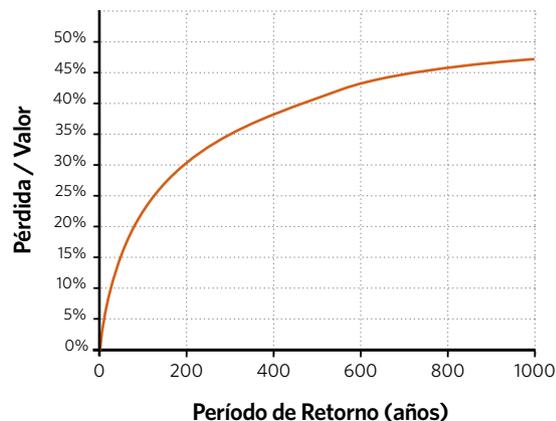
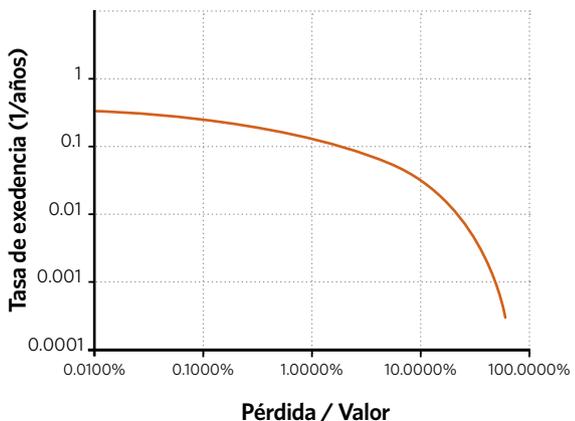


Figura 66. Curva de Pérdida vs Tasa de Excedencia, por sismo para el Aeropuerto de Arica



Prima Pura de Riesgo (ó Pérdida Anual Esperada) de acuerdo con el análisis probabilista de riesgo, es de 1,11% del valor de la infraestructura.

En las figuras anteriores (65 y 66) se muestran las curvas de Pérdida vs Período de Retorno y Pérdida vs Tasa de Excedencia de la Pérdida, para el Aeropuerto de Arica.



AEROPUERTO DE TAGNA

Los componentes principales para el análisis de riesgo en el Aeropuerto de Tacna se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 33. Componentes de infraestructura en el Aeropuerto de Tacna

#	Componente	Descripción estructura/sistema
1	Terminal de pasajeros estructura	Estructura de concreto reforzado de uno y dos pisos, de construcción antigua y reciente. El sector de construcción antigua no cumpliría requisitos de diseño sísmico actuales.
2	Terminal de pasajeros techumbre	Estructura de techumbre en sector de manejo de equipaje.
3	Edificio S.E.I. oficinas	Sector de oficinas, de un nivel, estructurado en base a mampostería confinada por pilares y cadenas de concreto reforzado. Particularmente vulnerable resulta la torre de observación del cuartel.
4	Edificio S.E.I. techumbre	Sector de techumbre estructurado en base a perfiles tubulares de acero, de doble altura, sin detallamiento sísmico.

Prima Pura de Riesgo (ó Pérdida Anual Esperada) de acuerdo con el análisis probabilista de riesgo, es de 2,08% del valor de la infraestructura.

En las siguientes figuras se muestran las curvas de Pérdida vs Período de Retorno y Pérdida vs Tasa de Excedencia de la Pérdida, para el Aeropuerto de Tacna.

Figura 67. Curva de Pérdida vs Período de Retorno, por sismo para el Aeropuerto de Tacna

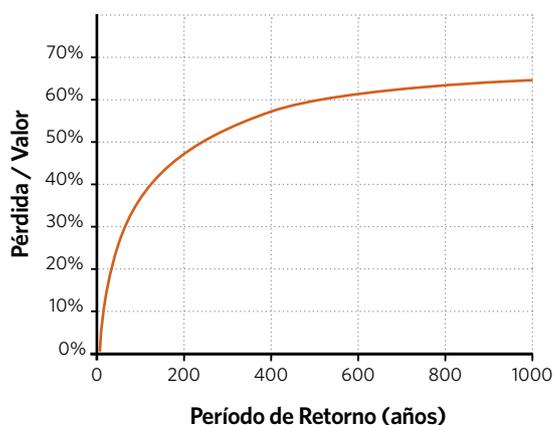
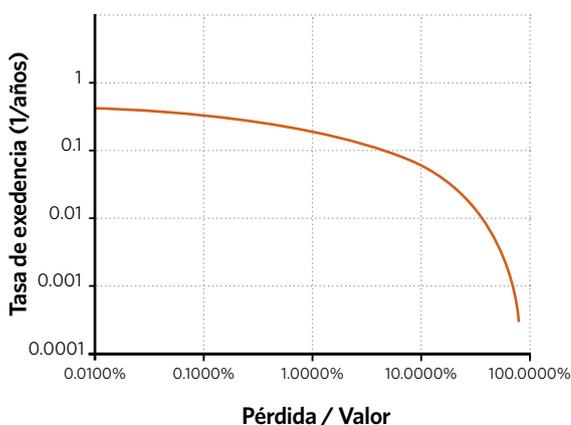


Figura 68. Curva de Pérdida vs Tasa de Excedencia, por sismo para el Aeropuerto de Tacna



Infraestructura portuaria



PUERTO DE ARICA

Los componentes principales para el análisis de riesgo en el Puerto de Arica se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 34: Componentes de infraestructura en el Puerto de Arica

#	Componente	Descripción estructura/sistema
1	Edificio administrativo	Estructura, presumiblemente de mampostería, de dos pisos de altura y un subterráneo.
2	Sala eléctrica	Estructura, presumiblemente de mampostería, de un piso, en algunos sectores de 2 pisos.
3	Muelle Sitio 2	Muelle de 220 m de longitud y 28 m de ancho, estructurado por 5 marcos longitudinales @ 8,13 m y 28 marcos transversales @ 8 m. Posee 84 pilotes verticales 28" día, y 56 pilotes inclinados 16" día. Losa HA e=0.4 m. Vigas HA 0,8/1,8 m.

Prima Pura de Riesgo (ó Pérdida Anual Esperada) de acuerdo con el análisis probabilista de riesgo, es de 0,83% del valor de la infraestructura.

En las siguientes figuras se muestran las curvas de Pérdida vs Período de Retorno y Pérdida vs Tasa de Excedencia de la Pérdida, para el Puerto de Arica.

Figura 69. Curva de Pérdida vs Período de Retorno, por sismo para el Puerto de Arica

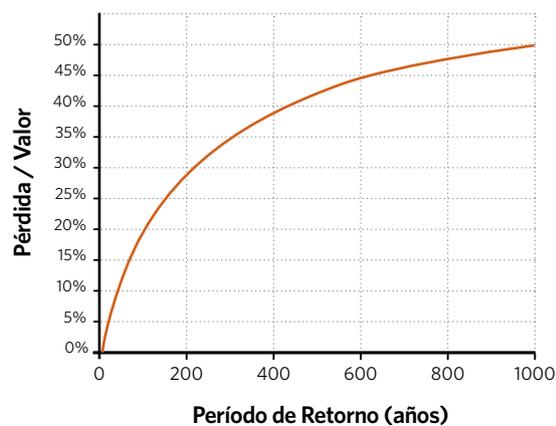
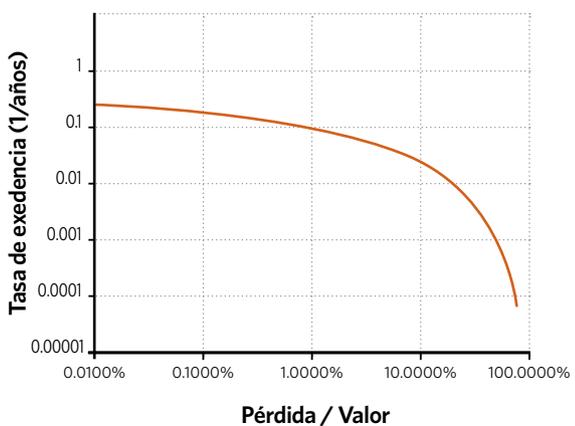
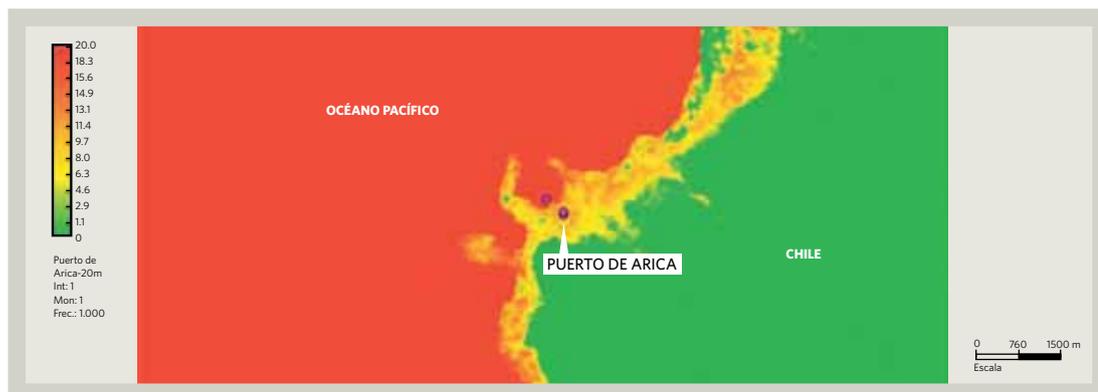


Figura 70. Curva de Pérdida vs Tasa de Excedencia, por sismo para el Puerto de Arica



Para el caso de tsunami, es importante conocer la pérdida que potencialmente podría presentarse ante eventos específicos con características destructivas, por ejemplo, para el caso del Puerto de Arica se analizó un evento que ocasiona una variación máxima del nivel del mar de 20 m, similar al evento del 13/08/1868.

Figura 71: Análisis de riesgo por tsunami en el puerto de Arica para evento que ocasiona una variación máxima del nivel del mar de 20m, similar al evento del 13/08/1868



La pérdida esperada ante este evento es del 57% del valor de la infraestructura en el puerto.



PUERTO DE MATARANI

Los componentes principales para el análisis de riesgo en el Puerto Matarani se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 35. Componentes de infraestructura en el Puerto de Matarani

#	Componente	Descripción estructura/sistema
1	Edificio administrativo	Estructura, presumiblemente de mampostería confinada, de dos pisos de altura.
2	Almacenes recepción de minerales	Estructura en base a muros de mampostería confinada y estructura de techumbre curva, con arriostres (tensores) horizontales. No se observan arriostres verticales en muros ubicados en las culatas del almacén.
3	Muelle	Muelle de concreto.
4	Ship Loader	Estructura de acero, que podría presentar problemas de estabilidad global.

Prima Pura de Riesgo (ó Pérdida Anual Esperada) de acuerdo con el análisis probabilista de riesgo, es de 3,92% del valor de la infraestructura.

En las figuras 72 y 73 de página siguiente, se muestran las curvas de Pérdida vs Período de Retorno y Pérdida vs Tasa de Excedencia de la Pérdida, para el Puerto de Matarani.

Para el caso de tsunami en el puerto de Matarani, se analizó un evento que inunda hasta la cota de elevación de 10 m sobre el nivel del mar, tal como lo documenta la Dirección de Hidrografía y Navegación del Departamento de Oceanografía de Perú (ver figura 74 en página siguiente).

Figura 72. Curva de Pérdida vs Período de Retorno, por sismo para el Puerto de Matarani

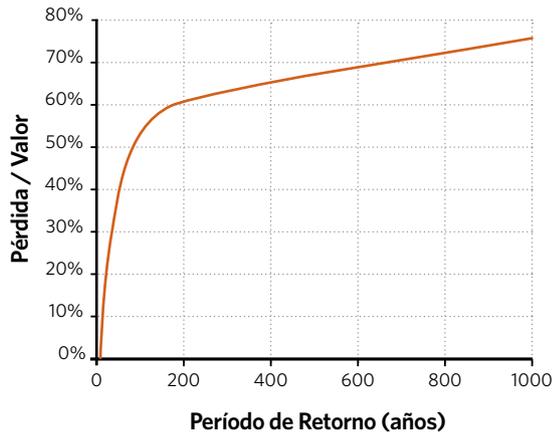


Figura 73. Curva de Pérdida vs Tasa de Excedencia, por sismo para el Puerto de Matarani

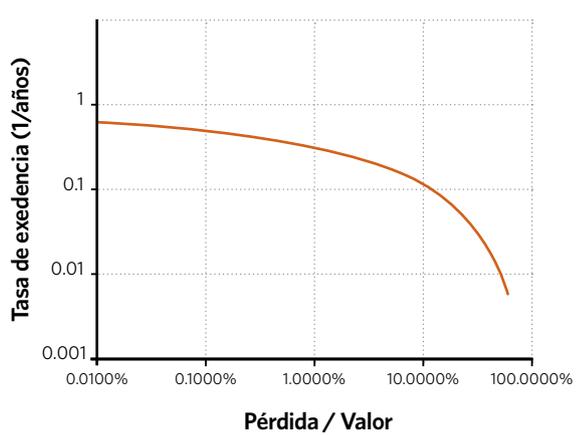


Figura 74. Análisis de riesgo por tsunami en el puerto de Matarani para evento que ocasiona una inundación hasta la cota de 10m sobre el nivel del mar



La pérdida esperada ante este evento es del 46% del valor de la infraestructura en el puerto.

Posibles medidas de reducción de riesgo

En esta sección se presentan las medidas de mitigación de la vulnerabilidad sísmica emanadas del análisis de las cuatro infraestructuras seleccionadas en territorio chileno y peruano. Se presenta un resumen de las vulnerabilidades estructurales y no estructurales observadas durante la inspección de campo efectuada en cada una de las instalaciones.

Habitualmente los planes de protección, de mitigación y de operación durante y post desastre de este tipo de instalaciones prevén la seguridad de las personas y de las instalaciones o de la operatividad de los servicios. De esta manera, dependiendo de las características y objetivos de desempeño requerido para cada instalación considerada y de los recursos económicos disponibles, es posible conseguir estratégicamente instalaciones con una alta seguridad en su operación e infraestructura e instalaciones con una alta protección en su infraestructura, que si bien no siempre se espera que funcionen inmediatamente después de una emergencia, pueden ser recuperados en plazos razonables y con costos controlados. Para esto se pueden usar métodos convencionales de protección sísmica o aplicar técnicas de evaluación de desempeño.

Una vez identificadas las vulnerabilidades de las instalaciones, mediante la información existente de la infraestructura y la inspección de campo, y determinados los desempeños que en su condición actual las estructuras podrían alcanzar, se evaluaron distintas opciones para su remediación, dependiendo del tipo de amenaza, de la tipología estructural, de la extensión de los posibles daños y/o deterioros y del desempeño esperado. Para estas medidas se considera la implementación de métodos convencionales acordes con las prácticas actuales.

El método convencional de remediación considera el refuerzo o modificación de la estructura y de los componentes y sistemas no estructurales existentes en función de los objetivos de desempeño que se requieren ser alcanzados. Esto equivale al desarrollo de diseños conceptuales para los refuerzos de las estructuras y de sus contenidos.

Las medidas consideradas para la reducción de riesgo aquí descritas son aplicadas regularmente en la práctica profesional actual y han dado buenos resultados en la protección sísmica de la estructura y sus contenidos.

Posibles medidas de reducción de riesgo ante sismo

A continuación se presentan detalles de vulnerabilidades y medidas de mitigación por componente ante amenaza sísmica, así como posibles medidas de mitigación:

Cielos rasos

Durante la inspección en terreno de las infraestructuras visitadas se constató la existencia de deficiencias en el detallamiento de las soluciones de los cielos rasos, entre las que se cuentan:

- ▶ Algunos cielos modulares se encuentran suspendidos por alambres de acero proyectados desde estructuras metálicas de techumbre. Cielos modulares en esta condición históricamente han presentado un comportamiento sísmico inadecuado.
- ▶ En la totalidad de los cielos inspeccionados no se observan elementos de arriostre lateral.
- ▶ En la totalidad de los cielos inspeccionados no se observan elementos de apuntalamiento vertical.
- ▶ En la totalidad de los cielos inspeccionados no se observan dilataciones en el perímetro de los paños de cielo raso.
- ▶ Los sistemas de iluminación y de aire acondicionado se apoyan directamente sobre el cielo raso, sin contar con un sistema de sujeción independiente.
- ▶ En muchos casos no se observan escalerillas para el transporte de cables y ductos, los que se encuentran apoyados directamente sobre el cielo raso.
- ▶ En algunos casos se observa el uso de anclajes inadecuados para zona sísmica.
- ▶ En ciertas situaciones particulares, los rociadores de la red de incendio que cruzan el cielo raso no cuentan con holgura necesaria en su cruce.

Figura 75. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica cielos rasos



Tabiquería

Durante la inspección de campo se observaron deficiencias en el detallamiento de las soluciones de tabiquerías, como por ejemplo:

- ▶ Conexión de los muros de tabiquería liviana a losas aligeradas.
- ▶ Carencia de diseño sísmico en tabiquerías (elementos sin dilatación perimetral), y elementos de fachada con cierto grado de deterioro.
- ▶ Se observan elementos de fachadas sin dilatación en juntas de dilatación entre estructuras.
- ▶ Tabiquería pesada sin dilatación perimetral efectiva.

Gabinetes y mobiliario

Durante la inspección en campo se observó deficiencias en el detallamiento de las soluciones de gabinetes y mobiliario, como por ejemplo:

- ▶ Carencia de anclajes.
- ▶ Corrosión de anclajes.
- ▶ Conducciones sin abrazaderas y algunas bombas sin la totalidad de sus anclajes.
- ▶ Gabinetes eléctricos presentan componentes que no cuentan con conexión positiva a los racks o gabinetes que los contienen.
- ▶ Gabinetes sin fijación a paredes ni anclaje a piso, susceptibles al vuelco y deslizamiento.

Figura 76. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica de tabiquerías



Figura 77. Ejemplos de vulnerabilidad gabinetes y mobiliario



Equipos eléctricos y mecánicos

Las principales deficiencias identificadas en equipos eléctricos y mecánicos durante la inspección de campo se observan en las soluciones de anclaje, como por ejemplo:

- ▶ Equipos con apoyos móviles que no cuentan con dispositivos de control de desplazamiento ni volcamiento.
- ▶ Equipos montados sobre apoyos aisladores de vibraciones que no son aptos para uso en zona sísmica.
- ▶ Equipos simplemente apoyados sobre el radier sin incorporar anclajes.
- ▶ Equipos apoyados sobre estructuras de soporte metálicas no ancladas al piso.

Figura 78. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica equipos eléctricos y mecánicos



Sistemas HVAC y otros sistemas distribuidos

Durante la inspección de campo se observaron deficiencias en el detallamiento de las soluciones de anclaje de los sistemas de aire acondicionado y otros sistemas distribuidos (redes de incendio, escalerillas eléctricas, redes agua potable y agua residual, entre otros), como por ejemplo:

- ▶ Sistemas distribuidos se encuentran apoyados directamente sobre el techo de la estructura o sobre cielos rasos, sin contar con colgadores y arriostres independientes anclados a losa.
- ▶ Carencia de detallamiento sísmico de sistemas distribuidos.
- ▶ No se observan escalerillas para el transporte de cables y ductos, sino que se encuentran apoyados directamente sobre el cielo raso.

Figura 79. Ejemplos de vulnerabilidad HVAC y sistemas de distribución



Datacenter

Durante la inspección de campo se observó deficiencias en la disposición de equipos y estructuras de soporte, como por ejemplo:

- ▶ Equipos apoyados sobre ruedas y/o apoyos simples capaces de deslizarse sin topes laterales que lo impidan.
- ▶ Estructura de soporte consiste en un piso registrable.

Figura 80. Ejemplos de vulnerabilidad Datacenter



Losas de cielo

En la inspección en campo se observó que losas aligeradas podrían no contar con refuerzo suficiente para resistir la acción vertical del sismo. En general, las medidas de mitigación no invasivas relacionadas a la vulnerabilidad sísmica de estas losas aligeradas consiste en el refuerzo con FRP, las cuales le proveerían la resistencia adicional requerida. Se necesita un estudio detallado de ingeniería para verificar la cantidad de refuerzo requerido para resistir las acciones del sismo vertical.

Figura 81. Ejemplos de vulnerabilidad losas de cielo



Estructura edificio S.E.I.

Durante la inspección de campo de los edificios S.E.I. se observó que no cuentan con una estructuración o detallamiento adecuado para zona sísmica. En particular, se observa que:

- ▶ No cuentan con arriostres de techo.
- ▶ No se observan arriostres verticales.
- ▶ Se observa que los perfiles utilizados son relativamente esbeltos.
- ▶ Todas las conexiones son soldadas.

Figura 82 y 83. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica estructura edificio S.E.I.



Mobiliario edificio S.E.I.

De la inspección en terreno se evidencia deficiencias en el detallamiento de las soluciones de mobiliario, como por ejemplo:

- ▶ Contenidos vulnerables tales como roperos, estantes y contenedores con elementos químicos que no se encuentran anclados.
- ▶ Sin fijación a paredes ni anclados a piso, siendo susceptibles al vuelco y deslizamiento.
- ▶ Estanterías de almacenamiento en general sin diseño sismorresistente.

Figura 84. Ejemplos de vulnerabilidad mobiliario edificio S.E.I.



En la siguiente tabla se enumeran las vulnerabilidades detectadas durante la inspección en terreno y las medidas de mitigación correspondientes a cada componente analizado:

Tabla 36. Resumen de medidas de mitigación

Componente	Chile		Perú		Vulnerabilidad	Medidas de mitigación
	Aeropto. Arica	Puerto Arica	Aeropto. Tacna	Puerto Matarani		
Cielos rasos		✓	✓	✓	No presentan diseño ni detallamiento sísmico. Equipos apoyados directamente sobre cielo raso.	Incorporación de arriostres diagonales, puntales de compresión y anclajes certificados que cuenten con diseño sismorresistente. Incorporación de soportes y arriostres diagonales independientes para sistemas de iluminación, aire acondicionado, redes de incendio, entre otros. Todo con diseño sismorresistente.
Tabiquerías	✓	✓			Capacidad de deformación tabiquería pesada. Capacidad de los tabiques para resistir cargas fuera del plano.	Implementar dilatación de tabiques a estructura resistente. Implementar muros de revestimiento exterior con diseño sismorresistente.
Gabinetes y mobiliario de oficina	✓	✓	✓	✓	Ausencia de dispositivos para prevenir la caída de contenidos. Susceptibilidad de vuelco o deslizamiento del mobiliario.	Incorporar anclajes de piso y fijación a la pared certificados para uso en zona sísmica. Incorporar arriostres diagonales certificados. Se debe utilizar gabinetes que se encuentren diseñados y certificados para uso en zona sísmica.

Componente	Chile		Perú		Vulnerabilidad	Medidas de mitigación
	Aeropto. Arica	Puerto Arica	Aeropto. Tacna	Puerto Matarani		
Equipos eléctricos y mecánicos	✓	✓	✓	✓	Equipos montados sobre apoyos aisladores de vibraciones. Equipos simplemente apoyados sobre el radier sin incorporar anclaje vertical y lateral.	Reemplazo de apoyos por aisladores de vibraciones que incorporen diseño sísmico. Incorporación de anclajes a losa. Incorporación de topes sísmicos con diseño sismorresistente.
HVAC y sistemas de distribución horizontal y vertical	✓	✓	✓		Equipos apoyados directamente sobre el cielo raso. No cuentan con detallamiento sísmico adecuado.	Incorporar arriostres y colgadores independientes. Incorporar arriostres transversales y longitudinales. Incorporar postes de compresión.
Datacenter				✓	Equipos apoyados sobre ruedas o simplemente apoyados capaces de deslizarse dado que no cuentan con topes laterales que lo impidan.	Incorporar anclajes de piso y fijación a la pared, como arriostres diagonales. Piso registrable requiere de arriostres laterales y anclaje a la losa.
Losas de cielo			✓		Resistencia limitada para sismo vertical.	Reforzamiento de losa con FRP. Se requiere proyecto de cálculo estructural.
Torre evacuación		✓		✓	Tsunami.	Colocación de torres de evacuación para personal en zona próxima al mar. Se requiere diseño sismorresistente de la torre.
Estructura edificio S.E.I.	✓		✓		Sector de galpón estructurado en base a perfiles tubulares de acero, de doble altura, sin detallamiento sísmico.	Reforzamiento general de la estructura, incorporando arriostres horizontales y verticales en techumbre y paredes. Se debe proveer un sistema sismorresistente a la estructura.
Mobiliario edificio S.E.I.	✓		✓		Equipos y mobiliario susceptible de volcar o deslizarse. Ausencia de dispositivos para prevenir la caída de contenidos.	Incorporar anclajes de piso, fijación a la pared, arriostres diagonales certificados. Se debe utilizar gabinetes que se encuentren diseñados y certificados para uso en zona sísmica.

Estimación de costo para medidas de mitigación

A continuación se estiman los costos económicos, referenciales, de implementar las medidas de mitigación de vulnerabilidad sísmica propuestas para los distintos componentes analizados:

Tabla 37. Costo estimativo para Aeropuerto de Arica

Estructura / Componente	Unidad	Valor	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Cielos rasos	m ²	900	19	17.100
Tabiquería liviana (metros lineales)	m	455	119	54.145
Gabinetes y mobiliario	ea	26	750	19.500
Equipos eléctricos y mecánicos	ea	176	230	40.480
Sistemas HVAC (estimado)	m	274	50	13.680
Sistemas incendio (estimado)	m	274	50	13.680
Sistemas de agua (estimado)	m	274	50	13.680
Estructura edificios S.E.I. (superficie total)	m ²	312	102	31.824
Mobiliario edificios S.E.I.	ea	12	750	9.000
Total mitigación vulnerabilidad no estructural				213.089
Gastos generales, utilidades e imprevistos	(100%)			213.089
			Total	426.178

Tabla 38. Costo estimativo para Aeropuerto de Tacna

Estructura / Componente	Unidad	Valor	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Cielos rasos	m ²	2.160	19	41.040
Tabiquería liviana	m	190	119	22.610
Tabiquería pesada	m	236	199	46.964
Gabinetes y mobiliario	ea	22	750	16.500
Equipos eléctricos y mecánicos	ea	128	230	29.440
Sistemas HVAC (estimado)	m	350	50	17.500
Sistemas incendio (estimado)	m	350	50	17.500
Sistemas de agua (estimado)	m	350	50	17.500
Estructura edificios S.E.I. (superficie total)	m ²	600	102	61.200
Mobiliario edificios S.E.I.	ea	14	750	10.500
Total mitigación vulnerabilidad no estructural				280.754
Gastos generales, utilidades e imprevistos	(100%)			280.754
			Total	561.508

Tabla 39. Costo estimativo para Puerto de Arica

Estructura / Componente	Unidad	Valor	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Cielos rasos	m ²	1.160	19	22.039
Tabiquería liviana	m	341	119	40.627
Tabiquería pesada	m	114	199	22.686
Gabinetes y mobiliario	ea	48	750	36.000
Equipos eléctricos y mecánicos	ea	304	230	69.920
Sistemas HVAC y otros sistemas distribuidos	m	480	50	24.000
Sistemas incendio (estimado)	m	480	50	24.000
Sistemas de agua (estimado)	m	480	50	24.000
Datacenter (contenidos)	m ²	60	107	6.420
Vulnerabilidad ante tsunami	ea	2	500.000	1.000.000
Total mitigación vulnerabilidad no estructural				1.269.691
Gastos generales, utilidades e imprevistos	(100%)			1.269.691
			Total	2.539.383

Tabla 40. Costo estimativo para Puerto de Arica

Estructura / Componente	Unidad	Valor	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Cielos rasos	m ²	2.765	19	52.535
Tabiquería liviana	m	287	119	34.153
Tabiquería pesada	m	550	199	109.450
Gabinetes y mobiliario	ea	90	750	67.500
Equipos eléctricos y mecánicos	ea	200	230	46.000
Sistemas HVAC y otros sistemas distribuidos	m	1.640	50	82.000
Sistemas incendio (estimado)	m	1.640	50	82.000
Sistemas de agua (estimado)	m	1.640	50	82.000
Datacenter (contenidos)	m ²	47	107	4.992
Losas de cielo	m ²	2.765	300	829.500
Vulnerabilidad ante tsunami	ea	2	500.000	1.000.000
Total mitigación vulnerabilidad no estructural				2.390.130
Gastos generales, utilidades e imprevistos	(100%)			2.390.130
			Total	4.780.259

Análisis Costo-Beneficio

De acuerdo con la información disponible en este estudio, se propusieron funciones de vulnerabilidad que representan el comportamiento de los diferentes elementos analizados al implementar una medida de mitigación estructural. Empleando las funciones de vulnerabilidad mitigadas para los diferentes componentes analizados de la infraestructura, se llevó a cabo nuevamente el análisis probabilista de riesgo empleando la plataforma CAPRA. Los resultados de Pérdida Anual Esperada (PAE) en el estado actual (sin medida de mitigación) y el estado mitigado (con medida de mitigación) de la diferente infraestructura analizada, se presentan en la siguiente tabla, así como el porcentaje de reducción (ahorro o beneficio) en la PAE de la infraestructura que se tendría respecto al "estado actual" al implementar las medidas de mitigación en los componentes analizados de la infraestructura.

Tabla 41. PAE en el estado actual y el estado mitigado

Sitio	Pérdida Anual Esperada (PAE)		% Ahorro en PAE respecto a estado actual
	Estado actual	Estado mitigado	
 Aeropuerto Arica	1,11%	0,085%	92%
 Puerto Arica	0,83%	0,153%	82%
 Aeropuerto Tacna	2,08%	0,080%	96%
 Puerto Matarani	3,92%	0,52%	87%

De la tabla anterior se observan los importantes beneficios de implementar medidas de mitigación, ya que de acuerdo a los análisis realizados empleando la información disponible, se observan reducciones en la pérdida anual esperada de más del 80% respecto al estado actual.

Para que las medidas de mitigación tengan los efectos anticipados, se requiere el desarrollo de estudios de ingeniería de detalles orientados a definir los diseños de las obras de refuerzo de sistemas estructurales y no estructurales que permitan, como mínimo, alcanzar objetivos de diseño comparables con los que resultan de aplicar las normativas de diseño vigentes. No obstante, objetivos de desempeño superiores, tales como protección de la inversión o protección de la función, pueden requerir la implementación de sistemas de disipación de energía o aislación sísmica en las estructuras. Estos aspectos deben ser evaluados dependiendo de los objetivos de desempeño del mandante u operador.

Un detallado análisis de costos se ha presentado en el informe del estudio piloto, que desglosa los costos de refuerzo de cada componente y sistema no estructural. El mismo análisis se debe replicar para el caso de las estructuras durante el estudio de detalles, a efecto de cuantificar los costos de reducción del riesgo de la infraestructura.

Conclusiones de la aplicación piloto

A continuación se presentan las principales conclusiones y reflexiones obtenidas de este estudio:

Vulnerabilidades

Las principales vulnerabilidades identificadas son las siguientes:

Componentes estructurales:

- ▶ Estructuras en general. Se observan, en todos los sitios visitados, estructuras de mampostería de 1 ó 2 pisos que pudieran requerir de refuerzo para cumplir los requisitos de diseño de los estándares actuales y/o aumentar su resistencia y seguridad sísmica.
- ▶ Losas aligeradas de cielo. En el Aeropuerto de Tacna se observaron losas aligeradas cuya resistencia ante efectos de cargas de sismo vertical debe ser evaluada.
- ▶ Estructura edificios S.E.I. Se observan estructuras metálicas en los edificios S.E.I. de los Aeropuertos de Tacna y Arica que requieren mejorar su detallamiento sísmico.
- ▶ Estructuras metálicas. En el caso del Puerto de Matarani se observan cepas de estructura metálica con diagonales que se encuentran pandeadas, reduciendo su capacidad sísmica. Del mismo modo, se observa que el ship loader no tendría capacidad sísmica.

Componentes no estructurales:

- ▶ Cielos rasos. Los cielos falsos presentes en todos los recintos visitados carecen de detallamiento sísmico (postes de compresión, perfilera heavy duty, entre otros.)
- ▶ Tabiquerías livianas y pesadas sin detallamiento sísmico. Las tabiquerías no cuentan con dilataciones ni con elementos de fijación que permitan acomodar movimientos en su plano y resistir sollicitaciones fuera del plano.
- ▶ Gabinetes y mobiliario. Se observa en todas las instalaciones visitadas gabinetes, estanterías y mobiliario sin diseño sísmico. En la mayoría de los casos no se observan anclajes a piso o pared.
- ▶ Equipos eléctricos y mecánicos. Se observan equipos eléctricos montados sobre apoyos de vibración que no serían adecuados para uso en zona sísmica. Se observan equipos eléctricos sin anclaje.
- ▶ Sistemas HVAC y otros sistemas distribuidos. Los sistemas distribuidos de las infraestructuras inspeccionadas carecen de puntales de compresión, y arriostres y anclajes sísmicos.
- ▶ Datacenter. Se observan datacenter sin detallamiento sísmico adecuado.
- ▶ Mobiliario edificios S.E.I. Se observan estanterías sin diseño sismorresistente. Materiales peligrosos e inflamables requieren ser asegurados para prevenir vuelcos y desplazamientos.
- ▶ Vulnerabilidad ante tsunamis. Se observa infraestructura crítica para la operación de los puertos en zona susceptible de inundación por tsunamis.

Recomendaciones para reducir la vulnerabilidad/riesgo

En el presente estudio se ha definido una serie de medidas que se deben implementar para la reducción de las vulnerabilidades sísmicas detectadas, definidas como medidas de mitigación. Estas medidas contemplan una intervención en el detallamiento de los componentes estructurales y no estructurales como las siguientes:

- ▶ Incorporar anclajes y topes sísmicos para prevenir el deslizamiento y vuelco de equipos eléctricos y mecánicos.
- ▶ Incorporar exoestructuras para prevenir el vaciamiento de tabiquerías livianas y pesadas.
- ▶ Incorporar estanterías con diseño sismorresistente para prevenir la caída de contenidos.
- ▶ Incorporar arriostres, puntales y anclajes sísmicos en sistemas distribuidos y cielos rasos.

El estudio incorpora soluciones esquemáticas a nivel de ingeniería pre-básica, cuantificando estas soluciones en términos monetarios estimativos.

Las soluciones presentadas deben ser refrendadas mediante un estudio de ingeniería de detalles desarrollado por una empresa con experiencia demostrable en diseño y refuerzo estructural y no estructural.

Recomendaciones y limitaciones del estudio

- ▲ Se debería ejecutar proyectos de ingeniería que permitan desarrollar los detalles de las medidas de mitigación provistas en este estudio. Los estudios de ingeniería deberían ser ejecutados por una oficina de diseño especialista tanto en diseño y refuerzo de sistemas estructurales y no estructurales.
- ▲ Se considera como indispensable la realización de una campaña en terreno que permita el levantamiento de la información requerida para la ejecución del estudio de ingeniería de detalle.
- ▲ Queda fuera de los alcances de este estudio el desarrollo de análisis específicos y detallados de vulnerabilidad sísmica, como puede ser el caso del IDA (Incremental Dynamic Analysis), modelos no lineales, analíticos, numéricos, experimentales u otra técnica que requiera un nivel de esfuerzo superior al tiempo y presupuesto contemplado para este estudio.
- ▲ Las funciones de vulnerabilidad física consideradas en este estudio están basadas en la práctica internacional, y están orientadas a caracterizar el comportamiento de la infraestructura de acuerdo a sus características e información disponible como: año de construcción, sistema estructural resistente, altura de entepiso, reglamento de construcciones vigente, material de construcción, detallamiento sísmico, entre otros.

Conclusiones y recomendaciones

En el presente capítulo se presentan las conclusiones de la aplicación piloto de la Metodología de Gestión de Riesgos (GRD) en Infraestructuras de Integración COSIPLAN-IIRSA, de Chile y Perú:

- ▲ El presente documento constituye un aporte para los países de América del Sur permitiendo generar conciencia respecto de la importancia de proteger la infraestructura de integración y las vidas de los ciudadanos que por allí transitan o trabajan, frente a las múltiples amenazas de fenómenos naturales que se presentan en esta región.
- ▲ La adecuada protección de las infraestructuras de integración requiere aplicar la metodología de gestión de riesgos de integración para conservar el valor patrimonial de las obras nacionales e internacionales con impacto binacional o multinacional, pues las pérdidas asociadas con eventos geológicos y climáticos han crecido sustancialmente a lo largo de las últimas décadas y con ello también las pérdidas económicas asociadas a la falta de prevención o mitigación adecuada.
- ▲ La Metodología para la Gestión de Riesgos y Catástrofes (GRD) se basa en un marco conceptual adecuado utilizando instrumental analítico de ingeniería y estadísticas que en su aplicación en los países de América del Sur estará apoyando al cumplimiento de las metas del Marco de Sendai.
- ▲ Se ha cumplido el objetivo de colocar a disposición de los países que integran COSIPLAN-IIRSA, la Metodología para la Gestión de Riesgos y Catástrofes (GRD) con su primera aplicación piloto

a cuatro infraestructuras de integración y que permite contar con procedimientos claros para prevenir o reducir los efectos de eventos catastróficos (terremotos, maremotos, aluviones, inundaciones y erupciones volcánicas) que afecten las infraestructuras suramericanas, y establecer planes de recuperación de la conectividad de la infraestructura pública.

- ▲ Los fenómenos de la naturaleza no conocen banderas ni barreras políticas y por ello el trabajo que han realizado Chile y Perú en la constante coordinación para la aplicación piloto de la metodología GRD ha sido muy importante para el éxito de este estudio, permitiendo identificar el impacto de las amenazas de sismos y tsunamis en las infraestructuras portuarias y aeroportuarias ubicadas en la zona de silencio sísmico.
- ▲ La metodología GRD contempla básicamente tres fases para su aplicación. La primera fase es intensiva en diálogo y coordinación entre los organismos públicos de los países participantes en la aplicación, permitiendo de esta manera acordar la o las amenazas naturales que se considera mitigar y seleccionar y caracterizar la infraestructura de integración que se priorizará para realizar el análisis de riesgo. La segunda fase consiste en la aplicación del análisis de riesgo donde se estiman y caracterizan las amenazas, se realiza el análisis de vulnerabilidad y se entregan recomendaciones de las posibles medidas de reducción del riesgo. Finalmente la última fase consiste en que los países, conociendo los resultados de la fase anterior, implementen las recomendaciones e inviertan en los componentes estructurales y no estructurales que requieren atención, lo cual idealmente se recomienda que puedan complementar con los preparativos para la respuesta y las protecciones financieras adecuadas.
- ▲ La aplicación piloto de la metodología GRD para infraestructura de integración identificó las principales vulnerabilidades de las infraestructuras estudiadas. De esta manera se observaron vulnerabilidades de los componentes estructurales y no estructurales. En el componente estructural principalmente estructuras de mampostería que requieren refuerzos, losas aligeradas en los cielos, mejoramiento de detallamiento sísmico de estructuras de edificios y estructuras metálicas. En el caso de los componentes no estructurales se tienen medidas para: cielos rasos, tabiquerías livianas y pesadas, gabinetes y mobiliario, equipos eléctricos y mecánicos, sistemas HVAC y sistemas distribuidos y datacenter.
- ▲ Este estudio ha permitido determinar una estimación preliminar del costo de las obras necesarias para la implementación de las medidas de reducción de riesgo, que para el caso de Chile se estiman en alrededor de US\$1.208.512 para el Puerto de Arica y US\$177.669 para el Aeropuerto de Arica. En el caso de Perú se tiene un costo de US\$2.349.880 para el Puerto de Matarani y US\$1.550.994 para el Aeropuerto de Tacna. Estos costos incluyen la cuantificación de costos por ambas amenazas estudiadas, sismo y tsunami.
- ▲ Las cuatro infraestructuras de integración estudiadas en la aplicación piloto corresponden a asociaciones público privadas en las que tanto el Estado de Chile como de Perú han licitado la construcción, mantenimiento y operación a concesionarios privados. Esta situación presenta una oportunidad para aplicar las recomendaciones de GRD pues existen incentivos por parte del concesionario para proteger a los usuarios, mantener la calidad del servicio brindado y velar por el funcionamiento continuo de las operaciones respectivas. En este contexto, los países deberían

iniciar un diálogo con los concesionarios en cada uno de los países para adoptar las medidas recomendadas a la brevedad posible.

- ▲ Las líneas de acción futuras que se han identificado como potenciales a desarrollar por los países a partir de este estudio son las siguientes: mejoramiento de la institucionalidad para enfrentar los riesgos de desastres mediante la creación de unidades de gestión de riesgos de desastres al interior de los ministerios de obras públicas en Chile y en el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones en Perú; concientización, capacitación y posterior aplicación de GRD en las obras de infraestructura que se licitarán vía asociaciones público privadas; aplicación de los conceptos de GRD en cada una de las fases del ciclo de proyectos de las obras de infraestructura expuesta a amenazas naturales. Para el caso específico de las infraestructuras consideradas en la aplicación piloto, se recomienda avanzar en la implementación de las medidas de reducción de riesgos validando las estimaciones de las obras de reforzamiento, mediante estudios de ingeniería de detalle para cada una de las instalaciones.



Bibliografía

American Lifelines Alliance (2004) - Matrix of Standards and Guidelines for Natural Hazards

American Lifelines Alliance (2005) - Guideline for assessing the performance of Oil and Natural Gas Pipeline Systems in Natural Hazard and Human Threat Events

American Lifelines Alliance (2005) - Guideline for assessing the performance of Electric Power Systems in Natural Hazards and Human Threat Events

CAF (1999) - Las lecciones de El Niño - Perú Memorias del Fenómeno El Niño 1997-1998 Retos y propuestas para la región andina

CAF (1999) - Las lecciones de El Niño - Venezuela Memorias del Fenómeno El Niño 1997-1998 Retos y propuestas para la región andina

CAF (1999) - Las lecciones de El Niño - Ecuador Memorias del Fenómeno El Niño 1997-1998 Retos y propuestas para la región andina

CAF (1999) - Las lecciones de El Niño - Bolivia Memorias del Fenómeno El Niño 1997-1998 Retos y propuestas para la región andina

Cees van Westen - International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, The Netherlands.

- CEPAL (1983) - Ecuador: Evaluación de los Efectos de las Inundaciones de 1982/1983 Sobre el Desarrollo Económico y Social
- CEPAL (1984) - Los desastres naturales de 1982-1983 en Bolivia, Ecuador y Perú
- CEPAL (1987) - El Desastre Natural de Marzo de 1987 en el Ecuador y sus repercusiones sobre el Desarrollo Económico y Social
- CEPAL (1998) - ECUADOR: evaluación de los efectos socio económicos del Fenómeno del niño en 1997-1998
- CEPAL (1999) - El terremoto de enero de 199 en Colombia: Impacto socio económico del desastre en la zona del Eje Cafetero
- CEPAL (2003) - Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres – Tomo 2
- CEPAL (2003) - Evaluación del Impacto de las Inundaciones y del Desbordamiento del Río Salado en la Provincia de Santa Fe, República Argentina, 2003
- CEPAL (2008) - Evaluación del Impacto Acumulado y Adicional Ocasionado por la Niña - Bolivia 2008
- CEPAL, BID (2012) - Valoración de daños y pérdidas - Ola invernal en Colombia 2010-2011
- CEPAL, PNUD (2000) - Los Efectos Socioeconómicos de las Inundaciones y Deslizamientos en Venezuela en 1999
- CEPAL, PNUD (2005) - GUYANA - Socio-economic assessment of the damages and losses caused by the January-February 2005 Flooding
- CEPAL, PNUD (2007) - Suriname: the impact of the May 2006 floods on sustainable livelihoods
- CEPAL, UNASUR (2011) - UNASUR - Un espacio de desarrollo y cooperación por construir
- CPC (2005) - The Climate Prediction Center
- COSIPLAN (2009) - Reglamento del Consejo Suramericano de Infraestructura y Planeamiento
- COSIPLAN (2012) - Plan de Acción Estratégico 2012-2022
- DGODT/MEPYD (2012) - PROGRAMA DE PREVENCIÓN DE DESASTRES Y GESTIÓN DE RIESGOS
Evaluación del Riesgo de Desastres por Eventos Naturales Peligrosos - Tarea 3.4 Alternativas de Instrumentos Financieros
- IIRSA (2009) - Metodología de Evaluación Ambiental y Social con Enfoque Estratégico – EASE
- NSR-10 (2010) - Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistentes
- PREDECAN (2010) - Atlas de las dinámicas del Territorio Andino: Población y bienes expuestos a amenazas naturales
- SELA (2003) - La continuidad de negocios y operaciones frente a situaciones de desastre en América Latina y el Caribe. Balance y recomendaciones - II Seminario Regional Alianzas entre el sector público y privado para la Gestión de Riesgo de Desastres: continuidad de gobierno y continuidad de negocios y operaciones ante situaciones de desastre

UNASUR (2013) - Declaración de la Conferencia de Alto Nivel de Autoridades Vinculadas a la Gestión de Riesgo de Desastres de UNASUR

UNISDR, ECHO (2013) - América del Sur: Una visión regional de la situación de riesgo de desastres

UNISDR (2009) - Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres

Vanessa Cançado et al (2008) - Flood risk assessment in an urban area: Measuring hazard and vulnerability

Yves Dávila (2012) - ISO 22301- El nuevo estándar en Continuidad del Negocio, presentado en Seminario Regional SELA "Alianzas entre el sector público y privado para la Gestión de Riesgo de Desastres: Continuidad de gobierno y continuidad de operaciones ante situaciones de desastres"

Anexos

Anexo 1. Ejemplo definición de los objetivos de desempeño para la Terminal Portuaria de Ilo - ENAPU S.A. frente a sismos y tsunamis

A continuación se detalla y justifica en base a los documentos normativos que se listan en la siguiente tabla, los objetivos de desempeño que aplica para la Terminal Portuaria de Ilo-Perú.

Tabla 42. Objetivos de desempeño para la Terminal Portuaria de Ilo - ENAPU S.A.

Objetivos de desempeño	Instrumento normativo que respalda dicho objetivo de desempeño
Proteger la seguridad del personal y usuarios	<ul style="list-style-type: none">▶ Norma de diseño sismorresistente▶ Norma Nacional sobre Seguridad Portuaria▶ Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias▶ Ley y Reglamento del Sistema Portuario Nacional▶ Plan Maestro de la Terminal Portuaria de Ilo
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema	<ul style="list-style-type: none">▶ Norma de diseño sismo-resistente▶ Ley y Reglamento del Sistema Portuario Nacional
Reducir pérdidas económicas	<ul style="list-style-type: none">▶ Norma de diseño sismorresistente
Evitar el daño medioambiental	<ul style="list-style-type: none">▶ Lineamientos para elaborar un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental en Proyectos Portuarios

Objetivo de desempeño: Proteger la seguridad del personal y usuarios

Como se puede apreciar en las referencias siguientes, en ellas se indica de diversas formas la necesidad de que los puertos cuenten con planes y procedimientos en caso de emergencias y desastres. Tanto los planes de respuesta¹ y planes de evacuación, por lo general buscan “Proteger la seguridad del personal y usuarios y ocupantes” de la infraestructura.

Norma Técnica E.030 “Diseño sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú

Esta norma de manera explícita en la filosofía y principios del diseño sismorresistente, indica que la filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- ▶ **Evitar pérdida de vidas humanas.**
- ▶ Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- ▶ Minimizar los daños a la propiedad.

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente norma los siguientes principios:

- ▶ La estructura no debería colapsar **ni causar daños graves a las personas**, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- ▶ La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- ▶ Para las edificaciones esenciales, (definidas en la tabla N° 5 de la norma), se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

Norma Nacional sobre Seguridad Portuaria

La Norma Nacional sobre Seguridad Portuaria y lineamientos para la obtención del Certificado de Seguridad en una instalación portuaria², para el caso de sismos y tsunamis hace referencia a la necesidad de que las instalaciones portuarias cuenten con planes de respuesta y planes de evacuación en caso de emergencias, así como la realización de ejercicios de emergencia periódicos.

Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias

Asimismo, el Perú es parte de la Organización Marítima Internacional (OMI) y signataria del Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias (CÓDIGO PBIP)³, en

1. Cuando estos planes son concebidos o integran la continuidad de operaciones/negocios, además de proteger la seguridad y bienestar de las personas se extienden a asegurar y recuperar el funcionamiento de los servicios portuarios.

2. Autoridad Portuaria Nacional (APN) “Norma Nacional sobre Seguridad Portuaria y lineamientos para la obtención del Certificado de Seguridad en una instalación portuaria - Resolución de Acuerdo de Directorio N° 010-2007-APN/DIR del 16 Marzo 2007.

3. OMI, SOLAS/CONF.5/34 (Dic 2002) “Código Internacional para la Protección De Los Buques y de las Instalaciones Portuarias (CÓDIGO PBIP).

cual se resalta el requerimiento y necesidad de que las instalaciones portuarias y buques cuenten con planes de emergencia y contingencia frente a eventos adversos, donde se incluyen los desastres producto de sismos y tsunamis

Ley y Reglamento del Sistema Portuario Nacional

La Ley del sistema Portuario nacional⁴, bajo el Art 33-Seguridad integral y calidad, en el inciso 33.3 se indica “Las Autoridades que intervienen en relación las actividades y servicios portuarios,...contando con programas de contingencia para casos de desastres que afecten a la actividad...”

El Reglamento de la Ley del Sistema Portuario Nacional⁵, establece en el Art.64 que “...el administrador portuario prestará en la zona portuaria los siguientes servicios generales:...g) prevención y control de emergencias”. Asimismo en el Art 130 se indica que “La Autoridad Nacional Portuaria establecerá los estándares mínimos de los sistemas de seguridad integral de los puertos y terminales portuarios. Las Autoridades Portuarias Regionales aprobarán anualmente los Planes de Contingencia de Seguridad Integral de los Puertos y terminales Portuarias...”

Objetivo de desempeño: Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema

A pesar que La Autoridad Portuaria Nacional (APN)⁶, identifica dentro de las problemáticas en el Plan de Desarrollo Portuario “*Los terremotos ocurridos en los últimos 60 años (el terremoto de Ancash de 1970, los terremotos de Lima de 1940 y 1974, el terremoto del sur 2001, entre otros) han dañado severamente las estructuras de atraque de las instalaciones portuarias de Chimbote, Callao, Matarani e Ilo, entre otras*”, no se identificó instrumento normativo del sector portuario orientado a mantener el funcionamiento de esta infraestructura, sin embargo la norma sismo resistente de Perú sí lo hace.

Norma Técnica E.030 “Diseño sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú

Esta norma de manera explícita en la filosofía y principios del diseño sismorresistente, indica que la filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- ▶ Evitar pérdida de vidas humanas.
- ▶ Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- ▶ Minimizar los daños a la propiedad.

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

- ▶ La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.

4. Ley 27943 “Ley del Sistema Portuario Nacional”, publicado en El Peruano el 1 de marzo 2003.

5. Decreto Supremo 003-2004-MTC del 27 de febrero 2004.

6. APN Plan Nacional de Desarrollo Portuario.

- ▶ La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- ▶ Para las edificaciones esenciales, (definidas en la tabla N° 5 de la Norma), se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

Ley y Reglamento del Sistema Portuario Nacional

La Ley del Sistema Portuario Nacional⁷, bajo el Art 33-Seguridad integral y calidad, en el inciso 33.3 indica “Las Autoridades que intervienen en relación las actividades y servicios portuarios,...contando con programas de contingencia para casos de desastres que afecten a la actividad...”

El Reglamento de la Ley del Sistema Portuario Nacional⁸, establece en el Art.64 que “...el administrador portuario prestará en la zona portuaria los siguientes servicios generales:...g) prevención y control de emergencias”. Asimismo en el Art 130 se indica que “La Autoridad Nacional Portuaria establecerá los estándares mínimos de los sistemas de seguridad integral de los puertos y terminales portuarios. Las Autoridades Portuarias Regionales aprobarán anualmente los Planes de Contingencia de Seguridad Integral de los Puertos y terminales Portuarias...”

Objetivo de desempeño: Reducir pérdidas económicas

El Proyecto de Norma Sismorresistente al considerar como parte de su filosofía el “Minimizar los daños a la propiedad” la vincula directamente a reducir las pérdidas económicas en activos fijos, pasivos o lucro cesante producto de los daños y pérdidas materiales.

Norma Técnica E.030 “Diseño sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú

Esta norma de manera explícita en la filosofía y principios del diseño sismorresistente, indica que la filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- ▶ Evitar pérdida de vidas humanas.
- ▶ Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- ▶ Minimizar los daños a la propiedad.

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

- ▶ La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- ▶ La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.

7. Ley 27943 “Ley del Sistema Portuario Nacional”, publicado en El Peruano el 1 de marzo 2003.

8. Decreto Supremo 003-2004-MTC del 27 de febrero 2004.

- Para las edificaciones esenciales, (definidas en la tabla N° 5 de la Norma), se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

Objetivo de desempeño: Evitar el daño medioambiental

El objetivo de la norma que se presenta a continuación y en especial su interpretación para el análisis de riesgo en caso de sismos y tsunamis, hacen posible considerar el presente objetivo de desempeño en los puertos del Perú.

Lineamientos para elaborar un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental en Proyectos Portuarios

Mediante la Resolución Directorial 013-2007-MTC/16⁹ se aprueban Lineamientos para elaborar un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental en Proyectos Portuarios, donde dichos lineamientos incluyen entre otras cosas lo siguiente:

CAPITULO VIII- PROGRAMA DE ADECUACION Y MANEJO SOCIO-AMBIENTAL, se establece en 8.2. Programa de Manejo Ambiental, el cual indica en 8.2.2. Sub Programa de Contingencias, que debe responder a la determinación de los riesgos endógenos y exógenos propios del proyecto, durante su fase constructiva y operativa del mismo, tales como derrames, accidentes, explosiones y atentados diversos. *Los riesgos exógenos deberán incluir los fenómenos naturales.*

Anexo 2. Actividades y alcance de estudios de riesgo

Análisis de amenaza

A continuación se detallan algunas actividades mínimas a ser considerados en el estudio de las diferentes amenazas del análisis de riesgo:

Tabla 43. Estudio de amenazas

 Sismos - Terremotos	
1.1 Terremoto - Rupturas de fallas superficiales	
1.1.1	Revisar mapas de fallas activas en la zona, si es que se encuentra disponible
1.1.2	Revisar los mapas topográficos
1.1.3	Revisar fotografías aéreas, si es que se encuentran disponibles
1.1.4	Hacer un reconocimiento de terreno (mediante un geólogo calificado)
1.1.5	Caracterizar las fallas activas a través de la excavación de trincheras/calicatas

9. RESOLUCION DIRECTORIAL 013-2007-MTC/16, publicado en El Peruano 8 marzo 2007



Sismos - Terremotos

1.1.6 Calcular los desplazamientos de fallas usando métodos empíricos y/o instrumentales

1.1.7 Determinar la probabilidad y desplazamientos de fallas, través de excavaciones de trincheras en las fallas, muestreos y análisis.

1.2 Terremoto - Licuefacción

1.2.1 Revisar información disponible sobre sismicidad del lugar de interés, incluyendo la información que entregue la comunidad.

1.2.2 Realizar una evaluación probabilística de riesgo sísmico

1.2.3 Revisar los mapas topográficos

1.2.4 Revisar mapas de geología

1.2.5 Revisar datos geotécnicos disponibles

1.2.6 Realizar algunas perforaciones y pruebas de penetración estándar o cónica

1.2.7 Realizar varias perforaciones de suelo y pruebas de penetración estándar o cónica representativas del lugar

1.2.8 Realizar reconocimiento de terreno (mediante ingenieros geotécnicos calificados)

1.2.9 Identificar depósitos de suelo potencialmente licuables mediante el uso de criterio de expertos

1.2.10 Identificar depósitos de suelo potencialmente licuables mediante análisis de muestras de suelo

1.2.11 Identificar niveles de napa freática

1.2.12 Calcular desplazamientos de propagación lateral usando métodos empíricos/instrumentales

1.2.13 Determinar amplificación de ondas sísmicas en lugar.

1.2.14 Calcular el potencial de licuefacción usando mapas de susceptibilidad de licuefacción

1.2.15 Realizar un análisis detallado usando herramientas analíticas, para determinar la probabilidad de licuefacción y grado de los desplazamientos de propagación lateral.

1.3 Terremoto - Fuertes movimientos de suelo

1.3.1 Revisar literatura sobre sismicidad histórica del lugar, incluyendo la información que entregue la comunidad

1.3.2 Revisar mapas de amenazas sísmicas y/o microzonificación de la zona, si es que se encuentra disponible

1.3.3 Revisar mapas de geología de la superficie

1.3.4 Definir factores de amplificación de movimientos de suelo

1.3.5 Calcular niveles de movimientos de suelo usando criterios y mapas existentes

1.3.6 Calcular niveles de movimientos de suelo usando métodos analíticos o instrumentales

1.3.7 Realizar un análisis probabilístico de riesgo sísmico

1.4 Terremoto - Derrumbes

1.4.1 Revisar mapas de geología de la superficie

1.4.2 Revisar mapas topográficos

1.4.3 Revisar fotografías aéreas, si es que se encuentran disponibles

1.4.4 Revisar mapas pluviales por zona

1.4.5 Realizar un reconocimiento de terreno (mediante geólogos calificados) , incluyendo información que entregue la comunidad



Sismos - Terremotos

- 1.4.6 Revisar mapas de riesgo sísmico de la zona de interés
- 1.4.7 Evaluar el potencial de derrumbe usando criterio experto
- 1.4.8 Evaluar el potencial de derrumbe usando mapas de estabilidad de pendientes
- 1.4.9 Evaluar el potencial de derrumbe usando análisis empírico o estadístico
- 1.4.10 Evaluar el potencial de derrumbe usando métodos analíticos

1.5 Terremoto - Tsunamis

- 1.5.1 Revisar mapas/cartas de inundación por tsunami
- 1.5.2 Revisar mapas topográficos de las zonas costeras
- 1.5.3 Revisar mapas batimétricos de zonas costeras
- 1.5.4 Revisar registros mareográficos
- 1.5.5 Calcular potenciales inundaciones por tsunami usando criterio experto
- 1.5.6 Calcular potenciales inundaciones por tsunami usando evaluación de potenciales fuentes de tsunami
- 1.5.7 Realizar análisis de probabilístico de riesgo de tsunami



Deslizamientos/Huaycos/Movimientos de tierra

2.1 Derrumbes (sin relación con sismos)

- 2.1.1 Revisar mapas de geología de la zona
- 2.1.2 Revisar mapas topográficos
- 2.1.3 Revisar fotografías aéreas si se encuentran disponibles
- 2.1.4 Revisar los mapas pluviales
- 2.1.5 Realizar reconocimiento de terreno (mediante geólogos calificados), incluyendo información que entregue la comunidad
- 2.1.6 Evaluar el potencial de derrumbe usando criterio experto
- 2.1.7 Evaluar potencial de derrumbe usando análisis empírico o estadístico
- 2.1.8 Evaluar el potencial de derrumbe usando métodos analíticos

2.2 Deformación de la superficie

- 2.2.1 Revisar mapas de geología de la superficie
- 2.2.2 Revisar mapas topográficos
- 2.2.3 Revisar mapas de aguas subterráneas e informes geotécnicos disponibles
- 2.2.4 Realizar reconocimiento de terreno (mediante profesionales calificados), incluyendo la información que entregue la comunidad
- 2.2.5 Evaluar el potencial asentamiento mediante criterio experto
- 2.2.6 Evaluar el potencial asentamiento usando métodos empíricos
- 2.2.7 Evaluar el potencial asentamiento usando métodos analíticos avanzados
- 2.2.8 Determinar el potencial de asentamiento creado por actividad humana (por ejemplo, la extracción de aguas subterráneas)



Vientos fuertes/tornados

- 3.1 Revisar mapas de vientos de estar disponibles
- 3.2 Revisar información de la historia de los vientos en la zona, incluyendo la información que entregue la comunidad
- 3.3 Identificar las condiciones locales que pueden aumentar el peligro de vientos fuertes/tornados
- 3.4 Compilar patrones de tormentas históricas
- 3.5 Identificar potenciales tormentas de viento usando criterio experto
- 3.6 Realizar evaluaciones de peligro en terreno
- 3.7 Calcular los potenciales peligros de viento usando criterio experto
- 3.8 Realizar una evaluación probabilística de peligro de viento de sistema



Heladas/Nieves

- 4.1 Revisar mapas disponibles
- 4.2 Revisar información sobre la historia de heladas/nieve en el área, incluyendo la información que entregue la comunidad
- 4.3 Identificar las condiciones locales que puedan aumentar el peligro de nieve/heladas
- 4.4 Calcular el potencial peligro de nieve/heladas usando criterio experto
- 4.5 Realizar una evaluación probabilística de peligro de nieve/heladas



Inundación

- 5.1 Revisar los mapas de inundaciones disponibles
- 5.3 Recopilar datos de inundaciones locales a partir de instituciones técnica, científicas, autoridades locales y la propia comunidad
- 5.4 Compilar datos topográficos, de precipitaciones y caudales de cuerpos superficiales de agua (ríos, quebradas, canales, entre otros.)
- 5.5 Identificar potenciales peligros de inundación debido a presas, caminos locales, entre otros.
- 5.6 Evaluar el peligro de inundación usando criterio experto
- 5.7 Realizar una evaluación probabilística de peligro de inundaciones



Volcanes

- 6.1 Revisar los mapas de peligro volcánico que estén disponibles
- 6.2 Recopilar datos históricos de erupciones y efectos locales (flujo lava, piroclastos, cenizas, entre otros.) a partir de instituciones técnica, científicas, autoridades locales y la propia comunidad
- 6.3 Recopilar datos topográficos
- 6.4 Evaluar el potencial peligro volcánico usando criterio experto
- 6.5 Realizar una evaluación probabilística de peligro volcánico

Análisis de vulnerabilidad

A continuación se detallan algunas actividades mínimas a ser considerados en el estudio de vulnerabilidad de los componentes e infraestructura del análisis de riesgo:

Tabla 44. Estudio de vulnerabilidad de infraestructura/componentes

Infraestructura/componentes
1.1 Recopilar o generar la información que caracterice la infraestructura o componente en términos de localización, materialidad, geometría y dimensiones, mediante planos, memorias de cálculo, entre otros.
1.2 Recopilar o generar la información que caracterice la infraestructura o componente en términos de su funcionamiento. (Se sugiere considerar a encargados de operación y mantenimiento)
1.3 Recopilar o generar la información que caracterice la infraestructura o componente como parte de un sistema.
1.4 Obtener información del desempeño de componentes similares frente a amenazas de interés.
1.5 Identificar las debilidades/vulnerabilidades del componente usando estimaciones, metodologías cualitativas o información sobre el impacto de eventos pasados en el tipo de componentes analizado.
1.6 Identificar las normas, códigos y criterios de diseño utilizados en la planificación y/o construcción de la infraestructura o componente Realizar visitas de terreno para conocer estado de la infraestructura, recabar información sobre funcionamiento y posibles impactos pasados.
1.7 Realizar visitas de terreno para validar la información que caracterice la infraestructura o componente en análisis.
1.8 Realizar visitas de terreno para complementar con información faltante o adicional que permita caracterizar la infraestructura o componente en análisis.
1.9 Realizar toma de muestras para estudiar las características y resistencia de materiales.
1.10 Realizar visitas y entrevistas en terreno para evaluar amenazas colaterales de fuentes externas, estructuras y equipamientos cercanos.
1.11 Evaluar la independencia (reserva, interconexión, entre otros.) de la infraestructura o componente de suministros o servicios básicos tales como electricidad, comunicaciones, agua, entre otros.
1.12 Evaluar la vulnerabilidad del almacenamiento o sistemas alternos de provisión de suministros y/o servicios básicos usando métodos cuantitativos.
1.13 Evaluar las vulnerabilidades de la infraestructura o componente usando métodos indiciales los datos obtenidos y metodologías cuantitativas disponibles.
1.14 Evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura o componente usando moldeamientos matemáticos que permitan definir el comportamiento de la infraestructura o componente.
Edificaciones importantes (Además de las actividades anteriores incluir las siguientes)
2.1 Identificar las funciones que se desempeñan al interior del edificio
2.2 Identificar los componentes o equipos importantes dentro de los edificios.
2.3 Analizar la vulnerabilidad de los componentes o equipos importantes, haciendo uso de metodologías cualitativas o criterio de experto/s.
2.4 Analizar la vulnerabilidad de los componentes o equipos importantes, haciendo uso de metodologías cuantitativas, moldeamiento o estudios empíricos.

Anexo 3. Caracterización Infraestructura



AEROPUERTO DE IQUIQUE

Descripción de infraestructura y su emplazamiento

El Aeropuerto de Iquique, también denominado Aeropuerto Internacional Diego Aracena, se ubica a 45 km al sur de la capital regional Iquique en la I Región de Tarapacá, de Chile. Tiene acceso a través de la Ruta Costera 1, también se encuentra a 1,5 km aproximadamente de la línea de costa y su elevación es de 48 m.s.n.m. Las instalaciones se encuentran dentro de la base aérea “Los Cóndores” y su operación es mixta, es decir, tanto civil como militar.

Figura 85: Plano ubicación general Aeropuerto de Iquique



Fuente: Web Dirección Vialidad –MOP y DGAC

Este aeropuerto realiza vuelos a destinos internacionales, Perú, Bolivia y Argentina; en cuanto a los principales destinos nacionales estos son el Aeropuerto Internacional Chacalluta en Arica, el Aeropuerto Nacional Andrés Sabella Gálvez en Antofagasta y el Aeropuerto Internacional Comodoro Arturo Merino Benítez en Santiago. Las principales compañías aéreas que operan en el aeropuerto son Sky Airlines, LAN Airlines, Principal Airlines y LAN Express, las que suelen realizar vuelos de cabotaje.

Mediante Decreto Supremo N° 237 de fecha 26 de julio de 2012, el Ministerio de Obras Públicas adjudicó al consorcio formado por A-port Chile S.A. y Holding IDC S.A. que forman la Sociedad Concesionaria Aeropuerto de Iquique S.A., la concesión de la obra pública fiscal denominada Aeropuerto Diego Aracena de Iquique.

Identificación y descripción de componentes del Aeropuerto Diego Aracena de Iquique

Algunas de las principales edificaciones que componen la terminal aeroportuaria Diego Aracena de Iquique, en base a la información detallada en los estudios del proyecto Concesión Aeropuerto Diego Aracena de 2008 son los siguientes:

- ▲ **Terminal de pasajeros:** corresponde a un edificio lineal de dos niveles, el primer nivel con una superficie de 3.218 m² se desarrolla en torno a la llegada de pasajeros con patio de equipaje y divisiones para los pasajeros nacionales e internacionales. El segundo nivel de 5.096 m² está destinado a la salida de pasajeros con los respectivos controles, aduanas, salas de embarque y servicios.
- ▲ **Plataformas, calles de rodaje y pista:** el aeropuerto posee una pista de 3.350 m de longitud con 45 m de ancho, márgenes de 10 m y una zona de parada de 180 m. Posee una calle de rodaje paralela a la pista (Alfa) con 2.480 m de longitud y 23 m de ancho con enlaces a la pista. La calle de enlace Charlie une la pista con la calle de rodaje Alfa y la plataforma comercial principal, y la calle de enlace Delta que une la pista con la calle de rodaje Alfa y la plataforma de aviación civil, ambos con 23 m de ancho. La plataforma principal es de 34.435 m² y también existe una plataforma de abastecimiento de combustible de 1.200 m².
- ▲ **Edificio Administrativo DGAC:** edificio de dos niveles de estructura sólida construida en hormigón armado con una superficie total de 1.157 m², que alberga las áreas administrativas y las instalaciones aeronáuticas de la DGAC. Parte del segundo nivel es una terraza para posibles ampliaciones.
- ▲ **Torre de Control:** edificación de siete niveles construidos de estructura sólida en hormigón con una superficie total de 322 m² de recintos interiores, y 131 m² de parrilla superior de techo y pasillo técnico de servicio por el perímetro de la cabina en forma de pentágono. En esta estructura se cumplen las funciones de control aeronáutico del aeropuerto guiando los aviones en su aproximación, aterrizaje, despegue y direccionamiento en tierra.

Identificación de amenazas naturales

El Aeropuerto de Iquique se ubica en la zona del GAP sísmico del norte de Chile, según los antecedentes sísmicos.

De acuerdo a los antecedentes disponibles el punto más bajo del aeropuerto corresponde al extremo norte de la pista de aterrizaje con una cota de 29 m sobre el nivel medio del mar, y el extremo sur con una cota de 48 m sobre el nivel medio del mar. La cota de inundación por tsunami de acuerdo a las cartas del SHOA en esta zona, se puede situar aproximadamente entre la cota 30 y 35 m sobre el nivel medio del mar. En este caso la cota 35 sobre el nivel medio del mar, podría inundar aproximadamente 300 m de la pista, de un total de aproximadamente 3.350 m.



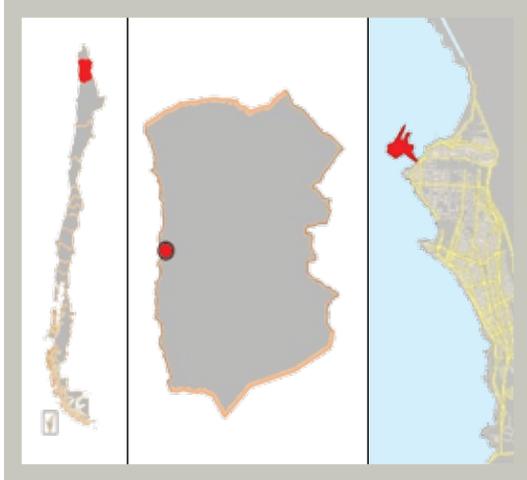
PUERTO DE IQUIQUE

Descripción general de infraestructura y su emplazamiento

El Puerto de Iquique se ubica en la I Región de Chile, Región de Tarapacá, en la Provincia de Iquique, Comuna y Ciudad del mismo nombre. La provincia de Iquique limita al Norte con la provincia de Arica, al este con la Provincia de Tamarugal, limítrofe con Bolivia, al Sur con la provincia de Tocopilla (Región de Antofagasta) y al Oeste con el Océano Pacífico. La ciudad de Iquique se encuentra 316 km al Sur de la Ciudad de Arica y 1.845 km al Norte de Santiago.

El Puerto de Iquique es una instalación artificial, construida sobre una pequeña isla denominada "Serrano", unida al continente frente de la ciudad del mismo nombre, en la última década del siglo XIX, a través un malecón y el molo de unión entre la isla Serrano y tierra firme.

Figura 86. Ubicación General Puerto



Fuente: Plan Maestro 2012.

Figura 87. Vista Planta Puerto de Iquique



Fuente: Plan Maestro 2012.

El Puerto de Iquique fue construido a finales de la década de 1920, y corresponde a una terminal con dos frentes de atraque, habilitado actualmente para la transferencia de cargas contenedorizadas, graneles sólidos y líquidos, automotoras y fraccionada, lo que lo caracteriza como una terminal multipropósito. Está constituido por un molo de abrigo y un espigón, ambos de penetración al mar, y cada uno compuesto por dos sitios.

El frente de atraque número 2 se encuentra concesionado a Iquique Terminal Internacional S.A. (ITI) como monooperador, mientras que el frente de atraque número 1 es administrado por la Empresa Portuaria Iquique (EPI) en modalidad de frente multioperado.

Descripción componentes de infraestructura portuaria

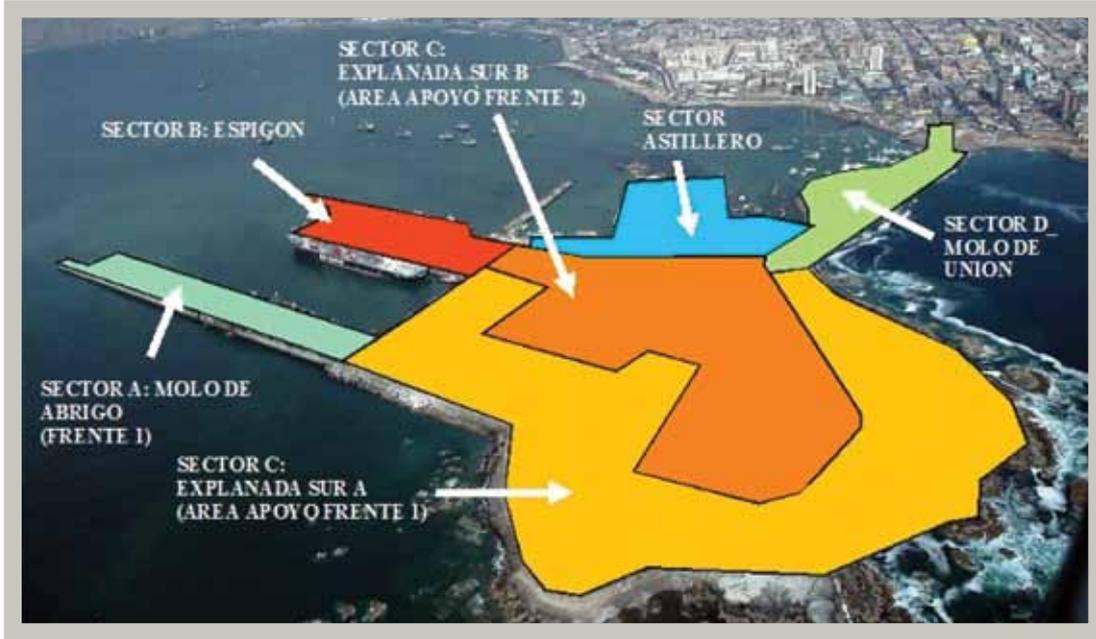
En la figura 88 se muestra una vista general del puerto, el cual ha sido dividido en sectores para efectos de descripción, según se indica a continuación.

Sector A: Molo de Abrigo - Sitios 1 y 2:

- ▶ **Muelle de atraque:** Corresponde a los Sitios 1 y 2, con una longitud de 399 m para naves comerciales y 133 m para naves pesqueras. Su ancho aproximado es de 50 m, constituido por un muro gravitacional de bloques de hormigón.
- ▶ **Obras de protección costera:** Consisten en un muro gravitacional de 585 m de longitud, compuesto por bloques de hormigón de 60 toneladas, apoyados a la cota -9,40 sobre un prisma de enrocado.

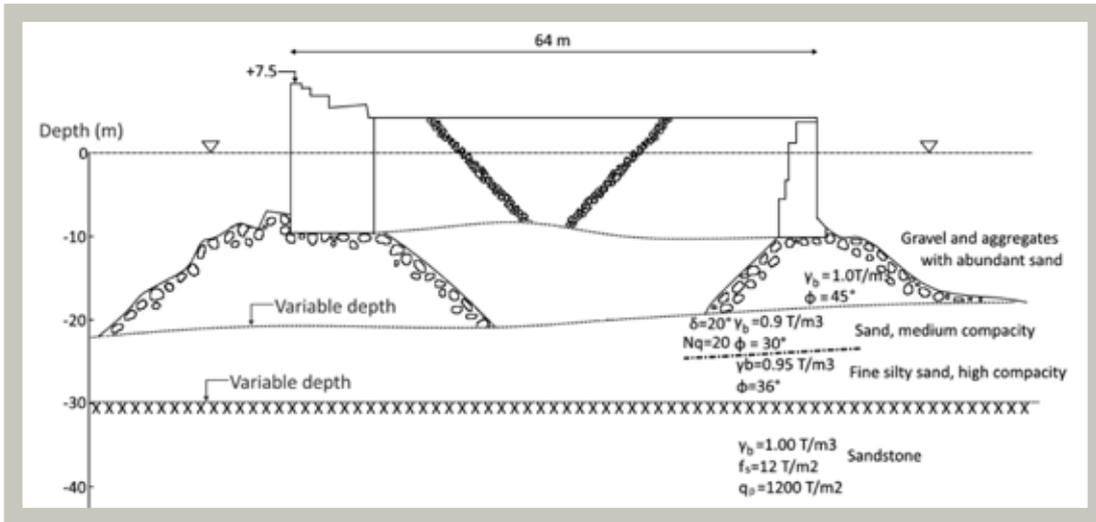
En la siguiente figura 89 se muestra una sección típica del Muelle de Atraque y Molo.

Figura 88. Vista general del Puerto



Fuente: Plan Maestro 2012.

Figura 89. Sección típica Molo



Fuente: "The Seismic Failure of the Port of Iquique's Wharf", por E. Sáez, K. ROLLINS, K. FRANKE, A. BECERRA, y C. LEDEZMA.

Sector B: Espigón de Atraque - Sitios 3 y 4

- ▶ **Muelle Sitio 3:** tiene una longitud de 335 m y un ancho de 100 m, y al igual que el Muelle Molo, está constituido por un muro de bloques de hormigón prefabricados, dispuesto en capas horizontales, que se apoyan sobre un prisma de enrocado cuyo coronamiento está a la cota -10,25
- ▶ **Muelle Sitio 4:** muelle de 294 m de longitud, y 30 m de ancho, construido con pilotes de acero hincados al fondo.

Sector C: Explanada Sur

Corresponde a todas las áreas de respaldo del Molo de Abrigo y Espigón, los terrenos adquiridos a la Armada y terrenos ganados al mar protegidos mediante obras de escolleras costeras.

Sector D: Molo de Unión

Este molo tiene una longitud de 500 m, es que une la ex Isla Serrano con tierra firme y está conformado por un relleno central de desmonte de cantera, protegido por enrocados, sobre los cuales se apoya un parapeto de hormigón por el costado sur, que alcanza la cota +8,50. El ancho promedio de este molo de unión es de 34 m.

Identificación de amenazas naturales

El Puerto de Iquique se ubica en la Zona del GAP sísmico del norte de Chile, según los antecedentes sísmicos. Según las Cartas de Inundación por Tsunami del SHOA, el puerto es afectado.



PUERTO DE ILO - TERMINAL ENAPU S.A.

Descripción general de infraestructura y su emplazamiento

La terminal portuaria de Ilo, inició sus operaciones el 29 de mayo de 1970 y está ubicado en el extremo sur del litoral peruano en la zona urbana y consolidada del Distrito y Provincia de Ilo de la Región Moquegua. En las coordenadas 17°38'28"S - 71°20'51"W.

La zona de influencia del puerto comprende las regiones de Moquegua, Tacna, Arequipa, Cuzco y Puno; asimismo brinda apoyo al comercio de Bolivia a través de la carretera binacional.

Las operaciones de la Terminal Portuaria de Ilo ENAPU S.A se desarrollan en un área total de 81.445 m². Es un puerto profundo de ingreso directo, con muelle es tipo espigón y su calado varía de 37 a 16 pies. El puerto cuenta con 1.560 m² de almacenes techados y hay 67.000 m² para las zonas de contenedores.



Identificación y descripción de componentes del Puerto de Ilo

El Puerto de Ilo es un puerto abierto, sin protección artificial (rompeolas), cuya profundidad promedio es de 36 pies con un suelo marino de roca lo cual no hace necesario su dragado. La altura promedio del oleaje es de 0,62 m.

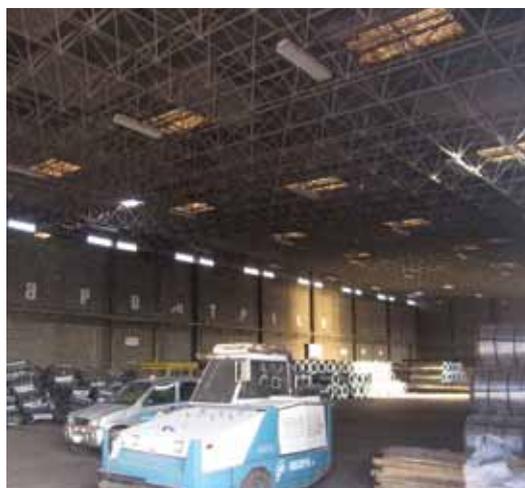
- **Edificio administrativo:** Edificio de dos niveles estructurado en base a pórticos y muros de corte que data desde la inauguración del puerto en 1970.

- ▶ **Edificio operaciones:** Edificio de un nivel estructurado en base a muros de corte, cuya data de construcción se desconoce.
- ▶ **Muelle multipropósito:** tipo espigón antisísmico de atraque directo para naves de alto bordo (302 m x 27 m) cuya plataforma y 356 pilotes son de concreto armado, que cuenta con cuatro amarraderos.
- ▶ **Áreas de almacenamiento:** El puerto cuenta con ocho (8) zonas de almacenamiento claramente definidas las cuales tienen diferentes características en cuanto a pavimentos, techumbres, capacidades y usos. Las Zonas 1, 2 y 3 tienen piso de concreto armado con una capa de asfalto en la parte superior con diferentes estados de conservación. En las Zonas 4 y 5 el piso es sólo de asfalto y en el caso de la Zona 6 el piso es de tierra sin tratar.
- ▶ **Almacén techado 01:** Estructura de albañilería confinada de doble altura con techo de estructura metálica reticulada.
- ▶ **Equipamiento:** Para cumplir las funciones de transferencia y manipulación de carga la terminal portuaria cuenta con 4 Terminal Truck marca Kalmar, tractores y elevadores. En la terminal portuaria no cuenta con grúas, por lo cual los embarques se realizan con la pluma o grúas de las propias naves.
- ▶ **Sistemas de respaldo:** Grupo electrógeno trifásico de 350 KW ubicado en la Zona 3.

Figura 90. Muelle multipropósito



Figura 91. Almacén techado 01



Identificación de amenazas naturales

De la información recopilada y visita de terreno al Puerto de Ilo, las únicas amenazas naturales a las cuales está expuesto el puerto son los sismos y tsunamis.

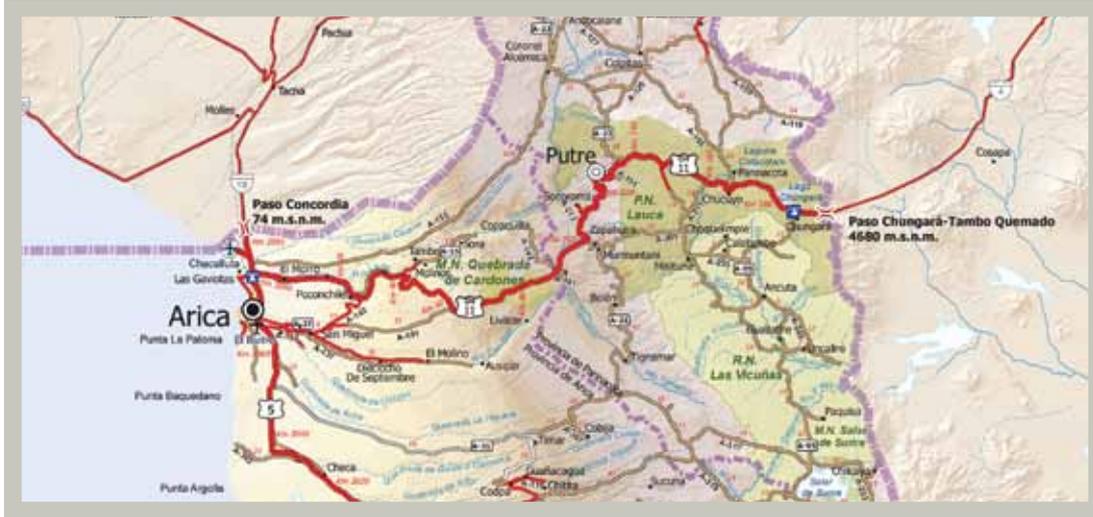


CARRETERA ARICA-TAMBO QUEMADO (RUTA 11-CH)

Descripción general de infraestructura y su emplazamiento

La Ruta 11-CH es una ruta internacional que forma parte del denominado Corredor Biocénico. Une las localidades de Chile de Arica, Putre y poblados altiplánicos con Bolivia a través del paso fronterizo Chungará-Tambo Quemado. Tiene una longitud de 192 km totalmente asfaltados, el cual está dividido en 10 tramos. Su objetivo es integrar las ciudades-puerto del norte chileno con países vecinos como Bolivia y Brasil, fomentando además la actividad del puerto de Arica.

Figura 92. Plano Trazado Ruta 11-CH



Fuente: Página WEB del MOP (<http://www.mapas.mop.cl/>)

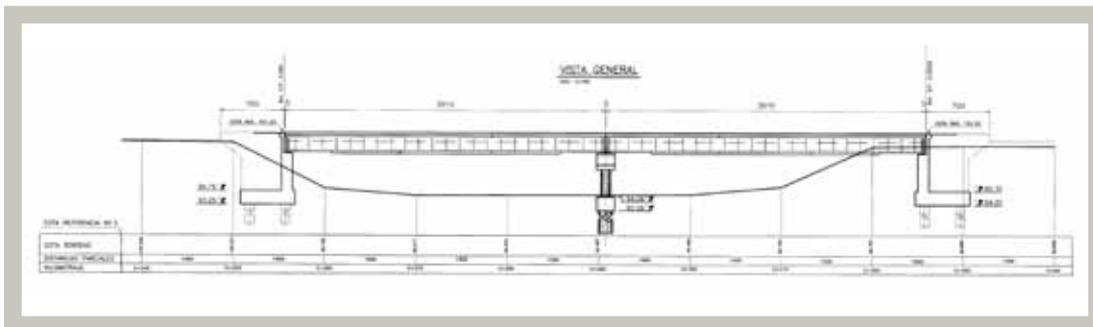
Caracterización de la Ruta 11-CH por tramos

- ▶ **Tramo 1** (Km 0,0 - Km 18,0): el camino posee un estado general bueno, y se contempla licitar para Estudio de Ingeniería (diseño) durante este año. En este tramo se emplaza 1 de los 3 puentes existente en esta ruta, denominado Puente Santa Lucia.

Figura 93. Puente Santa Lucia (aprox. Km 6)



Figura 94. Vista general Puente Santa Lucia



Fuente: Proyecto Departamento de Puentes - Dirección de Vialidad MOP

- ▶ **Tramo 2** (Km 18,0 - Km 36,0): el camino posee un estado general bueno, y se encuentra en desarrollo un estudio de ingeniería (diseño). En este tramo se emplazan 2 de los 3 puentes existentes en esta ruta, denominados Puente Chacabuco y Puente Poconchile.
- ▶ **Tramo 3** (Km 36,0 - Km 60,0): Estado general bueno. Cuenta con proyecto de ingeniería (mejoramiento de curvas, terceras pistas, seguridad vial, entre otros).

Figura 95. Puente Chacabuco (Km 20, foto izquierda). Puente Poconchile (Km 26, foto derecha)



Figura 96. Acceso Planta Fotovoltaica (Km 57)



- **Tramo 4** (Km 60,0 - Km 76,0): En este tramo el estado general del camino es bueno. Existe proyecto de reposición, en el cual se consideran 5 nuevas estructuras, en reemplazo de badenes existentes.

Figura 97. Badén (Km 62, Km 66, Km 70)



- **Tramo 5** (Km 76,0 - Km 100,0): En este tramo el estado general del camino es bueno, y se encuentra en desarrollo estudio de ingeniería (diseño).

Figura 98. Zona proximidad escurrimiento de cauces



- **Tramo 6** (Km 100,0 - Km 127,0): En este tramo el camino se encuentra en estado regular, con baches. En proceso de licitación de estudio de ingeniería.

Figura 99. Tramo 6



- **Tramo 7** (Km 127,0 - Km 137,0): En este tramo el camino se encuentra en estado bueno. Se realizó conservación el año 2014. Aproximadamente a partir del Km 127 (cerca de localidad de Putre) cambian las condiciones climáticas, teniendo el invierno boliviano aproximadamente durante los

meses de diciembre, enero y febrero. Durante el período de invierno chileno se tienen gradientes de temperatura extremos (aproximadamente entre 25°C y -25°C). Por estas razones los caminos de esta zona se encuentran muy vulnerables.

- ▶ **Tramo 8** (Km 137,0 - Km 147,0): Actualmente el camino se encuentra en ejecución de obras, por lo cual está sin pavimento.
- ▶ **Tramo 9** (Km 147,0 - Km 170,0): El camino se encuentra en estado regular, en sectores se presentan fisuras y baches. Entre 1,5 y 2 km sin pavimentar. También se observan algunos sectores con derrumbes pequeños, producto de lluvias y/o sismos. Se contempla reposición definitiva del tramo. A continuación se muestran algunas imágenes de aproximadamente el Km 150:
- ▶ **Tramo 10** (Km 170,0 - Km 192,0): Estado regular a malo. Existe proyecto de reposición, cuyas obras se contemplan iniciar este año. La estructura de pavimentos corresponde a un Tratamiento Superficial Doble, el que se encuentra en mal estado de conservación, presentando muchos sectores con importantes baches.

Figura 100. Tramo 7



Figura 101. Tramo 8



Figura 102. Tramo 9



Figura 103. Tramo 10. Baches, Lago Chungurá, límite con Bolivia (Km 192)



Identificación amenazas naturales presentes en la Ruta 11-Ch

En 2011 el Centro EULA de la Universidad de Concepción desarrolló el estudio denominado “Catastro Georeferenciado de riesgo y peligros naturales en la red vial del MOP”. Dentro de las conclusiones de dicho estudio, se determinó que en los caminos de la Macrozona Norte, afectados por eventos naturales se destaca la Ruta 11-CH con el mayor índice de riesgo (IR). Se determina que la principal causa de daños a la infraestructura vial, como en toda la región, es el invierno altiplánico o boliviano, asociado a fuertes precipitaciones estivales, crecidas de los ríos, especialmente en el altiplano y zona cordillerana.

Por otra parte se cuenta con información de ubicación de puntos críticos de riesgos naturales para la provincia de Parinacota, proporcionado por la Dirección de Vialidad Regional. A continuación se presenta un resumen de dichos puntos críticos para la Ruta 11-CH:

Tabla 42: Ubicación puntos críticos Ruta 11-CH

Nombre del camino	Km inicio	Km final	Sectores dañados	Descripción daños	Evento	Época del año
Cruce Longitudinal (Loma Lluta) - Parinacota - Tambo Quemado	30	60	Cuesta El Águila	Derrumbes	Terremoto	Enero-Diciembre
Cruce Longitudinal (Loma Lluta) - Parinacota - Tambo Quemado	60	105	Quebrada de Cardones	Derrumbes-Derrame	Terremoto-Lluvia	Enero-Diciembre
Cruce Longitudinal (Loma Lluta) - Parinacota - Tambo Quemado	105	147		Derrumbe-Derrame	Terremoto-Lluvia	Enero-Diciembre
Cruce Longitudinal (Loma Lluta) - Parinacota - Tambo Quemado	147	190		Nieve y granizo	Lluvia-Nieve	Junio-Agosto/ Diciembre/ Marzo

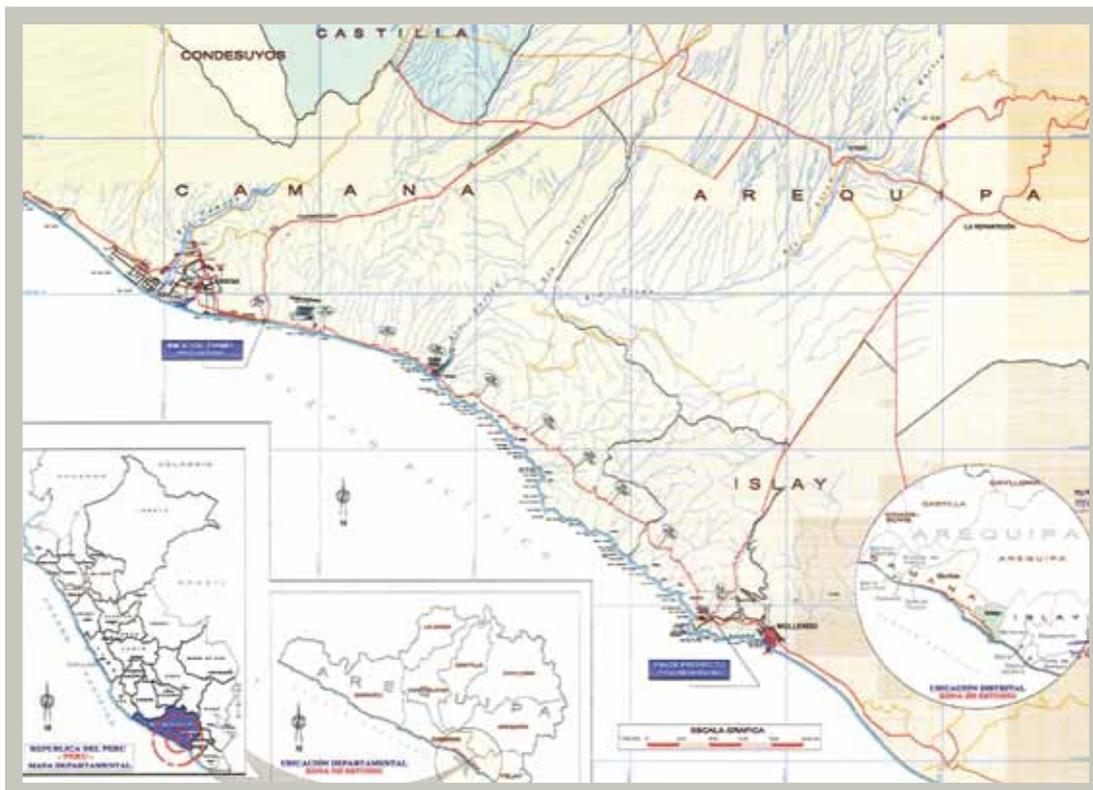
Fuente: Dirección de Vialidad Regional, Provincia de Parinacota



Descripción general de infraestructura y su emplazamiento

La carretera Costanera Camaná-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna, se ubicada en las Regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna, en Perú. Forma parte de las rutas nacionales y tiene una longitud total de 400 km, sin embargo no se tienen en cuenta para la aplicación piloto el tramo de esta carretera entre Ilo y Tacna. Esta carretera es considerada como una alternativa a la Carretera Panamericana Sur, permitiendo ahorros de costos de transporte y tiempos de viaje para los usuarios de la vía, sobre todo en los flujos de larga distancia. Asimismo, permite interconectar los puertos de Ilo y Matarani, que son puertos de salida y entrada de la Carretera Interoceánica IIRSA Sur.

Figura 104. Ubicación general Carretera Costanera



Identificación y descripción de componentes de la Carretera Costanera

Se identificaron los tramos, sectores, obras de arte y otros componentes que puedan comprometer la transitabilidad y serviciabilidad de una carretera.

Las zonas de inestabilidad de taludes o peligros de desprendimiento en cortes, habitualmente están claramente identificadas por señales viales diseñadas para tal fin, por lo cual estas zonas de riesgo durante el funcionamiento habitual de la carretera, se podrían asumir como tramos o sectores a ser afectados en caso de sismos. Los sectores y tramos identificados mediante señalética, puede complementarse con otros tramos que se propongan en base al estudio de características geotécnicas, topográficas y evidencias de daños.

Figura 105. 1. Trazado de carretera cercana a borde costero - 2. Trazado en terraplén y zona de caída de materiales - 3. Obra de arte que podría afectar transitabilidad en caso de ser dañada



Las principales obras de arte de la carretera costanera en el tramo Dv. Quilca-Punta de Bombón son los puentes Quilca y El Tambo que se detallan a continuación:

- **Puente Quilca:** puente de 240,85 m de longitud, compuesto por 6 tramos de 38 y 44 m de longitud entre apoyos en pilares. El ancho de la calzada es de 7,80 m y cubre la superficie de rodadura de la vía y las bermas correspondientes.

Figura 106. Construcción de puentes



- **Puente El Tambo:** con una longitud de 190 m cruza el río Tambo con un ángulo de 90° aproximadamente. La sección transversal del Puente Tambo, cuenta con una calzada bidireccional de 7,20 m, con carriles de 3,60 m cada uno. Además, se ha dotado al puente de una vereda de 1,20 m, separado de la calzada mediante una barrera rígida de concreto, para proteger a los peatones y al personal que realice el mantenimiento respectivo de la estructura.

Identificación de amenazas naturales

La Carretera Costanera como bien lo indica su nombre tiene su trazado cercano a la costa del Perú donde se originan la mayoría de sismos importantes del país. Además si bien la distancia a la costa y altura sobre el nivel del mar es variable, existen sectores de la carretera que están a una distancia y altura tal que son propensas a verse afectados por tsunamis. Asimismo, debido a condiciones propias del terreno y el trazado de la carretera, existen sectores propensos a deslizamientos, desprendimientos y caída de material sobre la calzada que podría afectar la transitabilidad aun ante la ausencia de sismos.



PANAMERICANA SUR (DESVÍO QUILCA A LA CONCORDIA)

Descripción general de infraestructura y su emplazamiento

Infraestructura peruana, cuya concesión fue otorgada el año 2015 a la Concesionaria Peruana de Vías - COVINCA S.A. ruta PE-1S, y corresponde a 430 km de vía dividida en cuatro tramos los cuales se detallan a continuación:

Tabla 43. Tramos Panamericana Sur

Tramo	Descripción	Ruta	Longitud (m)	Comienzo (km)	Fin (km)
01	Dv. Quilca - Dv. Arequipa (Repartición)	PE-1S	121.549	852.335	973.884
02	Dv. Matarani - Dv. Moquegua	PE-1S	158.234	988.529	1.146.763
03	Dv. Ilo - Tacna	PE-1S	113.310	1.184.683	1.297.993
04	Tacna - La Concordia	PE-1S	35.520	1.300.080	1.335.600

Figura 107. Ubicación general Panamericana Sur



Identificación y descripción de componentes de la Carretera Costanera

A partir de información proporcionada por COVINCA S.A., es posible identificar las zonas críticas o vulnerables, las cuales de ser afectadas directamente por un evento sísmico, interrumpirían o bloquearían la vía, según se indica en la tabla siguiente:

Tabla 44. Obras de arte de la Panamericana Sur críticas en caso de sismos

Estructura	Ubicación (km)	Longitud (m)	Condición	Riesgo
Puente Sigwas	925 + 015	112 m	Existente	Colapso e interrupción de vía
Puente Sigwas	925 + 010	121 m	Proyectado	Colapso e interrupción de vía
Puente Vitor	955 + 833	75 m	Existente	Colapso e interrupción de vía
Puente Vitor	955 + 904,50	80 m	Proyectado	Colapso e interrupción de vía
Puente Santa Rosa	1.048 + 305	124 m	Existente	Colapso e interrupción de vía
Puente Montalvo	1.146 + 437	60 m	Existente	Colapso e interrupción de vía
Puente Camiara	1.219 + 674	33,7 m	Existente	Colapso e interrupción de vía
Puente Tomasiri	1.262 + 752	30,0 m	Existente	Colapso e interrupción de vía
Puente Hospicio	1.314 + 592	13,0 m	Existente	Colapso e interrupción de vía
Puente Hospicio	1.314 + 449,61	25 m	Proyectado	Colapso e interrupción de vía
Túnel Sotillo	952 + 250	380 m	Existente	Colapso y bloqueo de vía
Túnel Sotillo	952 + 270	380 m	Proyectado	Colapso y bloqueo de vía
Túnel 1031	1.031 + 810	100 m	Existente	Colapso y bloqueo de vía
Túnel 1032	1.032 + 880	60 m	Existente	Colapso y bloqueo de vía
Túnel 1117	1.117 + 690	120 m	Existente	Colapso y bloqueo de vía

Identificación de amenazas naturales

De la información recopilada y la visita de terreno a la Carretera Panamericana, las principales amenazas naturales a las cuales está expuesta la carretera son los sismos, deslizamientos, desprendimientos, flujos de lodo proveniente de la cordillera.

Debido a que su trazado está sobre los 100 m.s.n.m y a una distancia mayor a los 20 km del borde costero, la amenaza de tsunamis no es relevante para esta carretera.



Acrónimos

ALA	American Lifelines Alliance
BCI	Business Continuity Institute
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CERESIS	Centro Regional de Sismología para América del Sur
CIIFEN	Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño
COSIPLAN	Consejo Suramericano de Infraestructura y Planeamiento
CPPS	Comisión Permanente del Pacífico Sur
CTN	Comité Técnico Nacional
DRII	Disaster Recovery Institute International
EASE	Evaluación Ambiental y Social con Enfoque Estratégico
EID	Ejes de Integración y Desarrollo
ENOS	El Niño-Oscilación Sur
ERFEN	Estudio Regional del Fenómeno El Niño
GDR	Gestión de Riesgo de Desastres
IIRSA	Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana
ISO	Organización Internacional de Normalización
LAC	Latinoamérica y el Caribe
MCEER	Centro Multidisciplinario para la Investigación en Ingeniería Sismorresistente
NOAA	U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration
ONI	Índice de El Niño Oceánico
OMM	Organización Mundial de Meteorología
PAE	Plan de Acción Estratégica
PREDECAN	Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis
SHOA	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile
SIG	Sistema de Información Geográfico
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNASUR	Unión de Naciones Sudamericanas
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNISDR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres

Glosario

- i. Definiciones tomadas de BID GN-2354-11 "Directrices Para la Aplicación de la Política de Gestión de Riesgo de Desastres" (2008)
- ii. Definiciones tomadas de SELA "La continuidad de negocios y operaciones frente a situaciones de desastre en América Latina y el Caribe. Balance y recomendaciones - II Seminario Regional Alianzas entre el sector público y privado para la Gestión de Riesgo de Desastres: continuidad de gobierno y continuidad de negocios y operaciones ante situaciones de desastre 2013"
- iii. Definiciones tomadas de UNISDR "Terminología sobre reducción de riesgo de desastres" (2009)

Adaptación al cambio climáticoⁱ. Ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a los efectos de estímulos climáticos reales o previstos, que modera los perjuicios o brinda oportunidades beneficiosas.

Amenazas naturalesⁱ. Procesos o fenómenos naturales que tienen un impacto en la biosfera y pueden constituir un hecho dañino. Esas amenazas incluyen terremotos, temporales, huracanes, aludes, maremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, incendios forestales y sequías o una combinación de estos fenómenos, así como las que puedan ser provocadas por el ser humano, incluidas las relacionadas con el cambio climático.

Asistencia humanitariaⁱ. Provisión de productos básicos y materiales necesarios para prevenir y aliviar el sufrimiento humano durante una operación de socorro en caso de desastre. La asistencia en esas circunstancias posiblemente consistirá en alimentos, prendas de vestir, medicamentos y equipos de hospital.

Cambio climáticoⁱ. Clima de un lugar o de una región cambia si durante un período prolongado (generalmente décadas o más) hay un cambio significativo desde el punto de vista estadístico en las mediciones del promedio o la variabilidad del clima de ese lugar o región.

Catástrofe. Véase definición de "Desastre".

Continuidad del negocio y de las operacionesⁱⁱ. Es la capacidad de la organización para continuar brindando sus servicios y realizando sus actividades a niveles aceptables después de una interrupción.

Desastreⁱ. Perturbación grave del funcionamiento de una sociedad, una comunidad o un proyecto, que provoca pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales grandes o graves, que superan la capacidad de la sociedad, la comunidad o el proyecto afectado para hacerle frente con sus propios recursos.

El Niño Oscilación del Sur (ENOS)ⁱⁱⁱ. Una interacción compleja del Océano Pacífico tropical y la atmósfera global que da como resultado episodios cíclicos de cambios en los patrones oceánicos y meteorológicos en diversas partes del mundo, frecuentemente con impactos considerables durante varios meses, tales como alteraciones en el hábitat marino, precipitaciones, inundaciones, sequías y cambios en los patrones de las tormentas

Evaluación del riesgo de desastresⁱ. Determinación de la naturaleza y el alcance del riesgo mediante el análisis de las posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad, que puedan plantear una amenaza o daños para las personas, la propiedad, los medios de vida y el medio ambiente de que dependen, es decir la medición de las probabilidades de que los efectos de posibles fenómenos naturales sobre los elementos expuestos y vulnerables, provoquen un desastre, a fin de evaluar opciones para reducir su impacto. En algunas regiones, como en el Caribe, se usa el término evaluación de los riesgos de amenazas naturales. A los efectos de este documento, se usa indistintamente las expresiones evaluación del riesgo de desastre y evaluación de los riesgos de amenazas naturales.

Gestión de emergencias derivadas de desastresⁱ. Organización y administración de los recursos y las responsabilidades para atender a todos los aspectos de la respuesta inmediata en situaciones de emergencia derivadas de un desastre, incluyendo la preparación, los planes de contingencia y la rehabilitación.

Gestión de Riesgo de Desastresⁱⁱⁱ. Proceso sistemático que integra la definición, prevención, mitigación y transferencia del riesgo, así como la preparación para desastres, respuesta en casos de emergencia y la rehabilitación y reconstrucción, con objeto de atenuar los impactos de los desastres.

Grado de Exposiciónⁱⁱⁱ. La población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales.

Incidente (de continuidad)ⁱⁱ. Situación que podría ser o podría conducir a una interrupción, pérdida, emergencia o crisis. Es importante precisar que esta definición de incidente debe ser entendida desde la perspectiva de continuidad del negocio y de operaciones, y podría ser diferente a los incidentes bajo el contexto de tecnología de información, riesgo o seguridad.

Instalaciones vitalesⁱⁱⁱ. Las estructuras físicas, instalaciones técnicas y sistemas principales que son social, económica u operativamente esenciales para el funcionamiento de una sociedad o comunidad, tanto en circunstancias habituales como extremas durante una emergencia.

Mitigaciónⁱ. Medidas estructurales y no estructurales tomadas para limitar los efectos adversos de amenazas naturales y tecnológicas y de la degradación ambiental.

Plan de continuidadⁱⁱ. Son los procedimientos documentados que guían a una organización durante y después de la interrupción en las fases de respuesta, recuperación, continuación y res-

tauración. Pueden ser uno o varios documentos y pueden recibir diferentes nombres (entre ellos Plan de Contingencia) según el tamaño, sector o tipo de organización.

Preparaciónⁱ. Actividades realizadas y medidas tomadas por adelantado a fin de asegurar una respuesta eficaz a los impactos de amenazas, incluidas la emisión oportuna y efectiva de alertas tempranas y la evacuación temporal de personas y bienes del lugar amenazado.

Prevenciónⁱ. Actividades encaminadas a evitar los efectos perjudiciales de las amenazas y medios para reducir al mínimo los desastres conexos.

Reconstrucciónⁱ. Construcción de nuevas instalaciones para reemplazar las que hayan sido destruidas o dañadas más allá de cualquier posibilidad de reparación por un desastre, conforme a normas que eviten el restablecimiento o el incremento de la vulnerabilidad.

Recuperaciónⁱ. Decisiones y medidas tomadas después de un desastre con objeto de restablecer o mejorar las condiciones de vida que tenía la comunidad afectada antes del desastre y, al propio tiempo, fomentar y facilitar los ajustes necesarios para reducir el riesgo de desastres.

Reducción del riesgo de desastresⁱ. Desarrollo y aplicación sistemática de políticas, estrategias y prácticas para la reducción de las vulnerabilidades, las amenazas y la multiplicación de los impactos de los desastres en una sociedad, dentro del amplio marco del desarrollo sostenible.

Reforzamientoⁱⁱⁱ. El refuerzo o la modernización de las estructuras existentes para lograr una mayor resistencia y resiliencia a los efectos dañinos de las amenazas

Rehabilitaciónⁱ. Reparaciones provisionales de infraestructura, servicios sociales o capacidad productiva dañada, para facilitar la normalización de las actividades económicas.

Resilienciaⁱⁱⁱ. La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas

Resistenciaⁱ. Capacidad de un sistema o de una sociedad para resistir los impactos negativos de una amenaza o de adaptarse, a fin de alcanzar y mantener un nivel aceptable de funcionamiento y estructura.

Riesgoⁱ. Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdida prevista (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de la actividad económica o deterioro ambiental) debida a las interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad.

Riesgo aceptableⁱⁱⁱ. El nivel de las pérdidas potenciales que una sociedad o comunidad consideran aceptable, según sus condiciones sociales, económicas, políticas, culturales, técnicas y ambientales existentes.

Transferencia del riesgoⁱⁱⁱ. El proceso de trasladar formal o informalmente las consecuencias financieras de un riesgo en particular de una parte a otra mediante el cual una familia, comunidad, empresa o autoridad estatal obtendrá recursos de la otra parte después que se produzca un desastre, a cambio de beneficios sociales o financieros continuos o compensatorios que se brindan a la otra parte.

Vulnerabilidadⁱ. Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que incrementan la susceptibilidad de una comunidad ante el impacto de amenazas.

Diseño editorial

estudiomartini07

www.martini07.com.ar • estudio@martini07.com.ar

Impreso en Argentina

Noviembre 2016

Secretaría CCT Foro Técnico **COSIPLAN-IIRSA**

INTAL - Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista de la Secretaría y/o el CCT. El material incluido puede ser reproducido total o parcialmente, ya sea por medios mecánicos o electrónicos, citando la fuente.







Comité de Coordinación Técnica



INTAL Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe

www.iirsa.org/cosiplan